

Contribuição para o estudo dos azeites de algumas cultivares autóctones de oliveira

Rafael Honorato Bezerra Oliveira

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do
Grau de Mestre em Qualidade e Segurança Alimentar no âmbito da dupla diplomação
com a Universidade Estadual de Maringá*

Orientado por:

**Nuno Miguel de Sousa Rodrigues
Davide Coelho Martins
Antonio Roberto Giriboni Monteiro**

**Bragança
2026**

Este trabalho contou com o apoio financeiro do projeto “OlivoTec – Valorização Tecnológica de Azeites de Territórios do Interior de Portugal” com referência PD24-00014, financiado pela FCT e Fundação La Caixa ao abrigo do programa “Promove o Futuro do Interior” de 2024.



Agradecimentos

Entregar essa dissertação representa uma conquista muito importante na minha vida e é com grande prazer e orgulho que agradeço a todas as pessoas que tornaram possível e mais leve.

Ao Doutor Nuno Rodrigues por toda orientação, ajuda e paciência. Agradeço a oportunidade de poder fazer parte do laboratório de azeites, pelos incentivos diários e todos seus ensinamentos.

Agradeço ao Doutor Davide Martins por todo apoio durante todas as etapas dessa fase. A sua ajuda foi essencial para concluir essa etapa. Obrigado pelos ensinamentos.

Ao professor Doutor Antonio Monteiro agradeço por todo apoio e conversas, todo o auxílio para me ajudar nesse processo de dupla diplomação e de intercâmbio.

Agradeço a Universidade Estadual de Maringá, em especial ao curso de Engenharia Alimentos e a todos os professores que estavam presentes na minha trajetória, fazendo com que eu me desenvolvesse e aprendesse cada vez mais. Agradecer também por abrirem as portas para essa oportunidade de dupla diplomação que foi enriquecedora repleta de experiências e aprendizados.

Aos meus colegas do laboratório AgroBioTecnologia Azeites, Daniela Ruano, Fedi Landoulsi, Fernando Martins, Maria Eduarda, Nuno Ferreira, Sandra Lamas e Siwar Alimi em que todos os dias tornaram um ambiente descontraído, alegre e onde todos se ajudam, queria agradecer a amizade construída e todos os momentos vividos juntos. Sempre dispostos a me ajudar e ensinar, pois quando cheguei tudo era novo e diferente, graças a vocês pude aprender e aperfeiçoar tudo e muito mais.

Agradeço a minha família, por todo apoio, incentivo e suporte para me ajudar a chegar onde cheguei e por me tornarem capaz de desbravar o mundo e alcançar meus objetivos. Em especial a minha mãe Karina, agradeço por todos os seus conselhos, carinho, e me acompanhar nesse trajeto, esse trabalho também é seu. Agradeço ao meu padrasto Márcio Oliveira que sempre esteve me apoiando e buscando o melhor para mim em toda trajetória acadêmica e pessoal. Agradeço ao meu pai Vinícius por todo apoio e conselhos.

Resumo

A olivicultura em Trás-os-Montes e na Beira Interior baseia-se sobretudo em sistemas tradicionais de sequeiro. A qualidade dos azeites é influenciada pelas condições edafoclimáticas, práticas agronómicas e cultivares, sendo importante compreender o efeito da origem geográfica e da cultivar na sua composição química e sensorial. A presente dissertação teve como objetivo caracterizar 47 amostras de azeites monovarietais provenientes das regiões de Trás-os-Montes (23 amostras) e Beira Interior (24 amostras). Em Trás-os-Montes foram estudadas as cultivares Cobrançosa, Madural, Negrinha de Freixo e Verdeal Transmontana, enquanto na Beira Interior foram analisadas Bical de Castelo Branco, Carrasquenha, Cobrançosa, Cordovil de Castelo Branco, Madural, Negrinha de Freixo e Verdeal. Os azeites foram avaliados quanto à atividade antioxidante, teor em fenóis totais, estabilidade oxidativa, perfil sensorial descritivo, composição volátil por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS) e análise por nariz eletrónico. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre regiões e cultivares. Em Trás-os-Montes, as cultivares Cobrançosa, Verdeal Transmontana e Madural apresentaram maior atividade antioxidante, com percentagens de inibição do radical DPPH de 77,41%, 69,79% e 65,72%, respetivamente, superiores à Negrinha de Freixo (40,35%). A Madural apresentou atividade antioxidante significativamente superior em Trás-os-Montes relativamente à Beira Interior. Nos teores de fenóis totais destacou-se a Cobrançosa da Beira Interior com 701,23 mg de ácido gálico/kg de azeite, enquanto a Verdeal Transmontana e a Cobrançosa Trás-os-Montes apresentaram 660,74 e 681,73 mg/kg, respetivamente. Relativamente à estabilidade oxidativa, Cobrançosa da Beira Interior apresentou o maior tempo de indução (35 h), enquanto Cordovil de Castelo Branco, Bical de Castelo Branco e Carrasquenha apresentaram valores inferiores a 10 h. Na análise sensorial, os azeites de Trás-os-Montes destacaram-se pelos atributos tomate, couve e frutado verde, enquanto os da Beira Interior apresentaram maior intensidade de maduro, doce e banana. A análise por GC-MS permitiu identificar 25 compostos voláteis, sendo o (E)-2-hexenal o composto predominante. As análises multivariadas demonstraram elevada capacidade de discriminação das amostras segundo a cultivar e a região, confirmando a relevância dos parâmetros químicos e sensoriais na diferenciação e valorização dos azeites portugueses.

Palavras-chave: Caracterização, Azeite Virgem Extra, Regiões do interior, Cultivares de oliveira, Discriminação multivariada.

Abstract

Olive cultivation in the Trás-os-Montes and Beira Interior regions is mainly based on traditional rainfed production systems. The quality of olive oils is influenced by edaphoclimatic conditions, agronomic practices, and olive cultivars, making it essential to understand the effects of geographical origin and cultivar on their chemical and sensory composition. The present dissertation aimed to characterize 47 monovarietal olive oil samples from the Trás-os-Montes (23 samples) and Beira Interior (24 samples) regions. In Trás-os-Montes, the cultivars Cobrançosa, Madural, Negrinha de Freixo, and Verdeal Transmontana were studied, whereas in Beira Interior the cultivars Bical de Castelo Branco, Carrasquenha, Cobrançosa, Cordovil de Castelo Branco, Madural, Negrinha de Freixo, and Verdeal were analysed. The olive oils were evaluated for antioxidant activity, total phenolic content, oxidative stability, descriptive sensory profile, volatile composition by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), and electronic nose analysis. The results revealed significant differences among regions and cultivars. In Trás-os-Montes, the cultivars Cobrançosa, Verdeal Transmontana, and Madural showed the highest antioxidant activity, with DPPH radical inhibition percentages of 77.41%, 69.79%, and 65.72%, respectively, significantly higher than that of Negrinha de Freixo (40.35%). The Madural cultivar exhibited significantly higher antioxidant activity in Trás-os-Montes than in Beira Interior. Regarding total phenolic content, Cobrançosa from Beira Interior presented the highest value (701.23 mg gallic acid/kg olive oil), while Verdeal Transmontana and Cobrançosa from Trás-os-Montes showed 660.74 and 681.73 mg/kg, respectively. Concerning oxidative stability, Cobrançosa from Beira Interior exhibited the longest induction time (35 h), whereas Cordovil de Castelo Branco, Bical de Castelo Branco, and Carrasquenha showed values below 10 h. Sensory analysis showed that olive oils from Trás-os-Montes were characterized by stronger tomato, cabbage, and green fruity attributes, whereas those from Beira Interior displayed greater intensity of ripe, sweet, and banana notes. GC-MS analysis identified 25 volatile compounds, with (E)-2-hexenal being the predominant compound. Multivariate analyses demonstrated a high capacity to discriminate olive oil samples according to cultivar and geographical origin, confirming the relevance of chemical and sensory parameters for the differentiation and valorization of Portuguese olive oils.

Keywords: Characterization, Extra Virgin Olive Oil, Inland Regions, Olive Cultivars, Multivariate Discrimination.

Índice

Resumo.....	iv
Abstract.....	v
1. Introdução	11
2. Contextualização Geral	17
2.1 Olivicultura em contexto nacional.....	18
2.2 Composição e qualidade do azeite	19
2.3 Importância das Cultivares de Azeitona	20
2.3.1 Cobrançosa	21
2.3.2 Carrasquenha	22
2.3.3 Cordovil de Castelo Branco.....	22
2.3.4 Negrinha de Freixo	22
2.3.5 Madural.....	23
2.3.6 Bical de Castelo Branco.....	23
2.3.7 Verdeal Transmontana.....	24
2.4 Fatores que influenciam a composição química e sensorial do azeite	24
2.5 Influência da Região.....	26
2.6 Justificação do estudo.....	28
3. Material e Métodos.....	31
3.1 Amostragem	31
3.2 Extração de azeite.....	32
3.3 Análise Sensorial Descritiva	34
3.4 Compostos Voláteis	35
3.5 Atividade antioxidantes nos azeites	36
3.5.1 Preparação do extrato por microextração.....	36
3.5.2 Determinação da percentagem de inibição do radical livre 1,1-difenil-2- picrilhidrazil (DPPH).....	37
3.5.3 Teor de Fenóis totais.....	38
3.6 Estabilidade Oxidativa	38
3.7 E-Nose	39
3.8. Análise estatística	41
4. Resultados e Discussão	43
4.1 Qualidade	43
4.2 Análise Sensorial	43
4.3 Compostos Voláteis	52
4.4 Efeito bloqueador de radicais livres de DPPH	57
4.5 Teor em Fenóis Totais	58
4.6 Estabilidade Oxidativa	60
4.7 Nariz Eletrônico	64
5. Conclusão	67
Referências.....	69
Anexos	78

Índice de figuras

Figura 1 - Mapa com a distribuição de cultivares de oliveira em Portugal continental. Fonte: “Recursos genéticos da oliveira e sua preservação no contexto das alterações climáticas”, de Cordeiro, A & Inês, C (2016).	21
Figura 2 - Mapa representando os concelhos que formam as regiões de Trás-os-Montes e Beira Interior.	28
Figura 3 - Distribuição geográfica das oliveiras selecionadas para o presente estudo. .	31
Figura 4 - Processo de extração de azeite pelo sistema Abencor. Colheita dos frutos (A), maceração das azeitonas no moinho (B), termobatedura (C), centrifugação (D), decantação (E) e filtração do azeite (F).	33
Figura 5 - Preparação das amostras para análise do perfil volátil por cromatografia gasosa acoplada por espectrometria de massa.	36
Figura 6 - Preparação de extrato para determinação da atividade antioxidante.	37
Figura 7 - Preparação de amostras para avaliação da atividade sequestradora pelo radical DPPH.	38
Figura 8 - Equipamento Rancimat para determinação da estabilidade oxidativa.	39
Figura 9 - Análise discriminante linear com base nos atributos sensoriais avaliados (olfativos e gustativos). Região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B), e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).	51
Figura 10 – Análise discriminante linear com base nos resultados obtidos do perfil de compostos voláteis por cromatografia gasosa. Região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B) e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).	56
Figura 11 - Resultados da percentagem (%) de inibição do radical livre DPPH. Letras minúsculas, maiúsculas e asterisco nas colunas indicam diferenças estatisticamente significativas (valor de $p < 0,05$) entre as cultivares em Trás-os-Montes, as cultivares na Beira e as mesmas cultivares em regiões diferentes, respectivamente (ANOVA, seguida do teste de Tukey).	57
Figura 12 - Resultados do teor em fenóis totais (mg de ácido gálico/kg de azeite). Letras minúsculas, maiúsculas e asterisco nas colunas indicam diferenças estatisticamente significativas (valor de $p < 0,05$) entre as cultivares em Trás-os-Montes, as cultivares na Beira Interior e as mesmas cultivares em regiões diferentes, respectivamente (ANOVA, seguida do teste de Tukey).	58
Figura 13 - Estabilidade oxidativa, expressa em horas, de amostras de azeite extraídas de diferentes cultivares cultivadas em diferentes regiões. Letras minúsculas, maiúsculas e asterisco nas colunas indicam diferenças estatisticamente significativas (valor de $p < 0,05$) entre as cultivares em Trás-os-Montes, as cultivares na Beira Interior e as mesmas cultivares em regiões diferentes, respectivamente (ANOVA, seguida do teste de Tukey).	60
Figura 14 - Análise de componentes principais com os dados da percentagem de inibição do radical livre DPPH, teor em fenóis totais e estabilidade oxidativa para azeites extraídos de oliveiras da região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B) e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).	63
Figura 15 - Análise discriminante linear com base nos resultados obtidos do nariz eletrónico (e-nose). Região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B) e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).	66

Índice de tabelas

Tabela 1 - Valores de referência para a classificação comercial do azeite.....	20
Tabela 2 - Sensores usados no E-Nose (Teixeira et al., 2021).	40
Tabela 3 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão) dos atributos olfativos avaliados na análise sensorial.	45
Tabela 4 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão) dos atributos gustativos avaliados na análise sensorial.	48
Tabela 5 – Concentração (média $\pm$ desvio padrão, μg de equivalentes de padrão interno/g de azeite) dos compostos voláteis identificados.	54

Lista de abreviações

DOP - Denominação de Origem Protegida

UE - União Europeia

LDL - Lipoproteína de baixa densidade

ATC – Aldeídos, terpenos e cetonas

IGP - Indicação Geográfica Protegida

MUFA - Ácidos gordos monoinsaturados

SFA - Ácidos gordos saturados

PUFA - Ácidos gordos polinsaturados

IM - Índice de maturação

MF - Mediana do frutado

MD - Mediana do defeito

DPPH - 1,1-difenil-2-picrilhidrazil

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

INE – Instituto Nacional de Estatística

COI - Conselho Oleícola Internacional

MOS - Metal–Oxide–Semiconductor

EAG - Equivalentes de Ácido Gálico

PCA - Análise de Componentes Principais

LDA - Análise Discriminante Linear

DF – Função Discriminante

LOO-CV - Leave-One-Out

GC-MS - Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa

LOX - Lipoxigenase

A photograph of an olive tree with silvery-green leaves and small dark olives, set against a clear blue sky and a green field. The tree's trunk is thick and gnarled, with several branches spreading out. A semi-transparent green banner is overlaid across the middle of the image, containing the chapter title.

Capítulo 1- Introdução

1. Introdução

O azeite, principal produto obtido da oliveira (*Olea europaea* L.), é um símbolo emblemático da dieta mediterrânica, desempenhando atualmente um papel central tanto do ponto de vista nutricional, cultural como económico (Belmonte-Sanchez et al., 2025). A dieta mediterrânica, reconhecida pela Organização Mundial de Saúde como um dos regimes alimentares mais equilibrados e benéficos para a saúde e o bem-estar, caracteriza-se por um elevado consumo de alimentos de origem vegetal, ingestão moderada de peixe, aves, lacticínios e ovos, consumo reduzido de carnes vermelhas. A dieta mediterrânica caracteriza-se também por promover o consumo do azeite como principal fonte de gordura. (Bach-Faig et al., 2011).

Segundo as estatísticas do Conselho Oleícola Internacional (COI, 2026b), a produção mundial de azeite no ano 2024/2025 atingiu as 3.572.000 toneladas (t), estimando-se uma ligeira diminuição de cerca de 4% para a campanha de 2025/2026. Desse total, os países mediterrânicos destacam-se como os principais produtores a nível mundial. Entre estes, a Espanha lidera com uma produção estimada para a campanha de 2025/2026 de 1.372.000 t, o que equivale a 40% da produção mundial. Segue-se a Tunísia, com 450.000 t (13,1%), a Itália, com 300.000 t (8,7%) e a Turquia, com 290.000 t (8,4%), entre outros países produtores (COI, 2026a).

Em 2024, Portugal destacou-se como o sexto maior produtor de azeite a nível mundial, com cerca de 1.959.949 hectolitros (hl) de azeite produzidos em 380.779 hectares (ha) de área cultivada de olival distribuídos pelas diferentes regiões do país. Entre estas, o Alentejo assume uma posição predominante, com cerca de 206.620 ha, o que equivale a 54,26% da área total de olival em Portugal. Esta região é também a principal produtora de azeite a nível nacional, com cerca de 1.616.333 hl produzidos em 2024, o que equivale a 82,5% da produção nacional (INE, 2024).

Os azeites virgens são aqueles obtidos exclusivamente a partir do fruto da oliveira, por processos mecânicos ou outros métodos físicos, em condições que não provoquem alterações na sua composição. Além disso, estes azeites não são sujeitos a qualquer tratamento, exceto a operações como lavagem, decantação, centrifugação e filtração (COI, 2025; Derewiaka et al., 2025). Tendo em conta a avaliação dos seus atributos sensoriais, realizada por painéis de provadores treinados, e a composição físico-química, os azeites podem ser classificados em três categorias, aqui enumeradas em ordem crescente de qualidade: azeite lampante, azeite virgem e azeite virgem extra (Regulamento Delegado, UE, 2022/2104). A atribuição da classificação comercial ao

azeite é feita com base nos regulamentos estipulados pelo Regulamento Delegado (UE) 2022/2104 e o Conselho Oleícola Internacional, que define valores máximos de diferentes parâmetros físico-químicos e sensoriais do azeite, para cada categoria. Entre os parâmetros mais determinantes para a classificação do azeite, destacam-se a acidez, o índice de peróxidos, os coeficientes de extinção no ultravioleta (K_{232} , K_{268}) e a análise sensorial. De forma complementar, a variabilidade da composição dos azeites e a diferença na sua qualidade podem ainda ser avaliadas através de outros parâmetros, nomeadamente o teor de fenóis totais, a capacidade antioxidante, a estabilidade oxidativa e a determinação dos compostos voláteis (Lamas et al., 2024).

Entre os principais fatores que determinam a composição química do azeite e o perfil sensorial, destacam-se as condições ambientais (altitude, precipitação, amplitude térmica, exposição solar), bem como determinadas práticas agrícolas (fertilização e irrigação), intimamente associados à origem geográfica da produção, contribuindo para a qualidade e a tipicidade dos azeites provenientes de diferentes regiões produtoras (Tamine et al., 2008; El Riachy et al., 2023). Consequentemente, a origem geográfica do azeite tem-se afirmado como um importante fator de qualidade e tipicidade do produto, assumindo relevância crescente nos últimos anos.

As propriedades organoléticas e nutricionais do azeite estão intimamente relacionadas com a sua composição em compostos voláteis e fenólicos (Bouskou, 2015). Estes compostos, em particular os fenólicos, como o hidroxitirosol, a aglicona de oleuropeína e o tirosol, apresentam elevado potencial antioxidante, anti-inflamatório e cardioprotetor, e o seu consumo está associado à redução do risco de diabetes, obesidade, hipertensão, doenças cardiovasculares, oncológicas, entre outras (Unsal et al., 2025; Kourek et al., 2025).

Segundo o Regulamento da União Europeia nº 432/2012, os azeites que contenham mais de 5 mg de hidroxitirosol e seus derivados (como o complexo oleuropeína e tirosol) por 20 g de azeite podem ser certificados com alegações de saúde. Este aspeto torna-se particularmente relevante para a promoção da saúde pública, visto que 75% da população em risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares não atinge os valores recomendados de lipoproteínas de baixa densidade (LDL), e que 50-60% dos adultos na Europa apresentam níveis elevados de colesterol no sangue (Kourek et al., 2025). Neste contexto, o azeite, enquanto alimento relativamente acessível e rico em compostos bioativos com elevado impacto positivo na saúde humana, vem ganhando crescente interesse tanto por parte da população como da comunidade científica.

Apesar de ser naturalmente rico em antioxidantes, o azeite está sujeito a processos de oxidação lipídica que podem comprometer as suas propriedades nutricionais e organoléticas e, em último caso, determinar a sua classificação comercial. A estabilidade oxidativa depende de múltiplos fatores, incluindo a composição em ácidos gordos, o teor de fenóis totais, a presença de tocoferóis, bem como as condições de armazenamento, nomeadamente exposição à luz, ao oxigénio e à temperatura (Chéu-Guedes et al., 2023).

A qualidade e a estabilidade oxidativa do azeite, bem como a composição e a concentração dos compostos bioativos presentes, dependem de uma série de fatores, entre os quais a origem geográfica de produção assume um papel determinante. Este fator reflete a ação combinada de múltiplos parâmetros, tais como o clima, as propriedades do solo, as cultivares tradicionalmente cultivadas e as condições de processamento para a extração do azeite (Damak et al., 2021).

O reconhecimento do impacto que a origem geográfica de produção exerce na qualidade e diferenciação do azeite, bem como de outros produtos alimentares, motivou a implementação de regimes oficiais de certificação enquanto instrumento legal de valorização e proteção dos mesmos. De forma a promover as características únicas destes produtos, protegê-los contra imitações e garantir ao consumidor a autenticidade e a qualidade, foram criados sistemas de certificação europeus, como a Denominação de Origem Protegida (DOP) e a Indicação Geográfica Protegida (IGP).

Entre as condições agroclimáticas que diferenciam as regiões de produção, a altitude em que as culturas se encontram influencia o perfil sensorial dos azeites produzidos. Os azeites produzidos em áreas montanhosas, geralmente associada a temperaturas mais baixas, apresentam um sabor mais amargo, picante e frutado em comparação com os azeites provenientes de locais de menor altitude (Silva et al., 2022).

Para além das condições ambientais, estudos comparativos realizados em azeites monovarietais demonstraram que diferentes cultivares portuguesas originam azeites com perfis físico-químicos e sensoriais distintos (Lamas et al., 2021). Em particular, a cultivar Santulhana caracteriza-se por um perfil sensorial frutado-verde, em contraste com a Madural, Cobrançosa e Verdeal Transmontana, fortemente associadas a sensações de maduro. Verificam-se ainda diferenças nos parâmetros de qualidade, destacando-se a Verdeal Transmontana pelos valores mais elevados de acidez e estabilidade oxidativa, enquanto a Santulhana e Cobrançosa apresentaram valores mais elevados em teor de fenóis totais (Lamas et al., 2021).

Diferenças no perfil volátil e na composição química do azeite têm sido igualmente atribuídas à cultivar de oliveira utilizada. A Madural apresenta maior predominância de compostos pertencentes à família dos álcoois. Os azeites obtidos da cultivar Cobrançosa distinguem-se pela elevada concentração de compostos alquílicos ramificados. Por sua vez, a cultivar Carrasquenha caracteriza-se pela elevada quantidade de compostos sulfurados, esteróis e alquilos lineares (Martins et al., 2019).

Embora existam estudos anteriores dedicados à caracterização de cultivares portuguesas, muitos desses trabalhos não refletem a evolução das práticas agrícolas e tecnológicas atualmente aplicadas à produção de azeite, nomeadamente no que diz respeito à determinação do momento da colheita, às condições de armazenamento e às tecnologias de extração. Paralelamente, as alterações climáticas têm vindo a influenciar o perfil químico e sensorial dos azeites, contribuindo para uma maior variabilidade entre as amostras e tornando ainda mais limitada a informação disponível sobre o comportamento das diferentes cultivares nestas novas condições de produção. Neste contexto, torna-se fundamental aprofundar o conhecimento sobre os azeites nacionais e valorizar o património olivícola português, numa altura em que se tem assistido a uma perda progressiva do património, resultante do abandono de olivais tradicionais e da sua substituição por cultivares não autóctones ou por outras culturas agrícolas. A caracterização e valorização das cultivares tradicionais assumem um papel determinante na preservação da autenticidade e diferenciação dos azeites nacionais.

O presente trabalho tem como principal objetivo quantificar e compreender as diferenças existentes entre azeites extraídos de diferentes cultivares produzidos nas regiões de Trás-os-Montes e da Beira Interior e, dessa forma, avaliar a influência da origem geográfica e da cultivar nas propriedades físico-químicas, sensoriais, antioxidantes e no perfil volátil dos respetivos azeites. Para tal, recorrer-se-á a diferentes metodologias analíticas e estatísticas, com o objetivo de identificar os principais parâmetros responsáveis pela distinção entre amostras de azeite provenientes de diferentes cultivares e regiões. Desta forma, pretende-se também contribuir para a caracterização e valorização dos azeites nacionais, em particular dos azeites de denominação de origem protegida (DOP), evidenciando os seus perfis químicos e sensoriais característicos.

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica, abordando aspetos relacionados com a cultura da oliveira e a produção de azeite em países mediterrânicos, com especial foco em Portugal. Serão ainda

detalhados aspetos relacionados com a influência das condições agronómicas e climáticas nas características sensoriais e físico-químicas do azeite, bem como a importância das cultivares na olivicultura nacional e aspetos da composição química associados à sua classificação comercial (capítulo 2). No terceiro capítulo são descritos o desenho experimental, os materiais e metodologias aplicadas para a execução deste trabalho. No capítulo quatro encontram-se descritos os resultados obtidos, bem como a discussão dos mesmos. No quinto capítulo, são apresentadas as principais conclusões, implicações e perspectivas futuras relacionadas com o tema em estudo.

A photograph of an olive grove under a clear blue sky. In the foreground, there is a dense patch of green grass and small yellow flowers. Several olive trees with silvery-green foliage are scattered across the field. A large, prominent olive tree is on the left side of the frame. The background shows more trees and a distant horizon line.

Capítulo 2 - Breve Revisão do Tema

2. Contextualização Geral

A oliveira é uma árvore angiospérmica dicotiledónea pertencente à família Oleácea, (Paié-Ribeiro et al., 2024) sendo esta a única espécie desta família que produz fruto apto para consumo humano, a azeitona (Oliveira et al., 2021). Domesticada entre 3000 e 4000 a.C. no Mediterrâneo Oriental, a oliveira disseminou-se progressivamente para o Norte de África, Península Ibérica e outras regiões do sul da Europa, impulsionada pela expansão das civilizações que se estabeleceram nesses territórios (Connor e Fereres, 2010). Neste contexto, a olivicultura constitui uma das atividades agrícolas mais antigas do Mediterrâneo. Em 2024, Espanha, Itália e Grécia destacam-se como os principais produtores de azeite e azeitona a nível mundial, sendo responsáveis por aproximadamente 31,8%, 12% e 8,1%, respetivamente, das cerca de 2,40 milhões de toneladas de azeite produzidas mundialmente (COI, 2024).

A oliveira é uma espécie arbórea reconhecida pela sua elevada adaptabilidade ao clima mediterrânico, desempenhando um papel fundamental nas dimensões culturais, económicas e sociais na região onde é cultivada (Crespo et al., 2025). Esta capacidade adaptativa explica o facto de cerca de 95% das oliveiras existentes no mundo se encontrarem em países da bacia do Mediterrâneo (Calado, 2024; EUROSTAT, 2020). O clima mediterrânico, marcado por verões quentes e secos e invernos amenos e chuvosos, é determinante para o ciclo fenológico e produtividade da oliveira (Fraga et al., 2020).

Contudo, a irregularidade da precipitação, os episódios prolongados de temperaturas elevadas e outros impactos decorrentes das alterações climáticas representam desafios crescentes para o setor olivícola (Fraga et al., 2020). Projeções indicam que a região mediterrânica será uma das mais afetadas por estas alterações no clima. Entre os principais impactos previsíveis destacam-se um aumento significativo da intensidade e frequência de episódios de temperatura elevada, acompanhado de um acentuado agravamento da escassez hídrica (IPCC, 2014) e disseminação e surgimento de novas pragas e doenças, fatores que podem tornar particularmente vulneráveis os olivais de sequeiro (Benlloch-González et al., 2014). Este contexto, aliado aos processos de erosão genética que afetam o setor, refletido no facto de apenas 5% das cultivares mundiais serem amplamente exploradas comercialmente, representa uma séria ameaça à sustentabilidade e resiliência da olivicultura (COI, 2022).

2.1 Olivicultura em contexto nacional

A olivicultura assume uma elevada relevância na agricultura nacional, quer pela sua ampla distribuição nas áreas de exploração agrícola, quer pelo seu contributo para o produto agrícola nacional. O azeite, principal produto da oliveira, é um elemento fundamental da dieta mediterrânica e uma importante fonte de rendimento para diferentes regiões do país, principalmente no interior, onde a agricultura de sequeiro tem grande predominância (Monteiro, 2024).

Desde 1985, tem-se verificado uma evolução da área de cultivo do olival em território nacional, passando de cerca de 340.000 ha, no fim do século XX, para cerca de 380.000 ha no início da década de 20 do presente século (Calado, 2024; FAOSTAT, 2022). Paralelamente, nos últimos 20 anos, a produtividade média da azeitona triplicou, passando de cerca de 0,7 toneladas de azeitonas/ha de olival para 2,1 toneladas de azeitona/ha (Anónimo S.N). Esta mais recente dinamização da olivicultura nas últimas décadas, evidente pelo aumento da área de cultivo e da capacidade de produção, deve-se, em grande medida, ao processo de modernização e mecanização do qual o setor tem sido alvo. Desde logo, destaca-se a conversão progressiva dos olivais tradicionais de sequeiro, de menor densidade de plantação, em sistemas de produção intensivos ou olivais de alta densidade, de maior dimensão e frequentemente irrigados (Reis, 2014). Para o aumento da área cultivada e da capacidade produtiva, contribuíram também a adoção de novas tecnologias de precisão aplicadas à produção agrícola, incluindo sistemas de rega de precisão, mecanização na colheita e nas operações agrícolas, bem como a utilização de sensores de monitorização ao longo do processo produtivo, permitindo uma gestão mais eficiente dos fatores de produção (Reis, 2014).

Portugal está entre os 10 maiores produtores mundiais de azeite, sendo aquele com a melhor proporção de azeite virgem e virgem extra em relação à produção total (Anónimo S.N). Como resultado do processo de modernização do setor, a produção nacional tem vindo a aumentar de forma consistente, passando de 24.600 t na campanha de 2000/2001 para 210.000 t na campanha de 2021/2022, o que representa cerca de 6% da produção mundial de azeite (Anónimo S.N). Para a campanha de 2024/2025, foram produzidos cerca de 177.000 t de azeite, o que corresponde a cerca de 4% da produção mundial (COI, 2026a). Este crescimento tem contribuído para a consolidação da olivicultura como um dos setores de maior relevo socioeconómico da agricultura nacional.

As principais regiões olivícolas em Portugal situam-se no Alentejo, seguido de Trás-os-Montes e Beira Interior, onde são adotados diferentes sistemas de produção, desde o olival tradicional até sistemas intensivos e alta densidade (INE, 2024). Em particular, na região do Alentejo tem-se verificado um aumento significativo da área de olival, que representa atualmente 55% da área total dedicada à olivicultura nacional (Anónimo S.N).

Portugal sempre veio sendo responsável por uma boa parte da produção de azeite proveniente da EU, é atividade económica que gera grande impacto no país visto que em 2023/24 as exportações atingiram aproximadamente 68 mil toneladas de azeite. (COI, 2024). Para além da sua relevância económica, a olivicultura desempenha também um papel significativo na preservação da paisagem rural e do património cultural e ambiental. Em particular, os olivais centenários e os métodos tradicionais de produção representam um elemento identitário dos países Mediterrânicos, preservam práticas agrícolas sustentáveis e são relevantes para a manutenção da biodiversidade local (Rodrigues et al., 2022).

2.2 Composição e qualidade do azeite

A composição do azeite é constituída maioritariamente por triacilgliceróis, que compõem entre 97 e 99% da fração total. A fração minoritária inclui diversos compostos bioativos, nomeadamente fenóis, álcoois, hidrocarbonetos e esteróis que, ainda que presentes em quantidades mais reduzidas, desempenham um papel determinante na qualidade nutricional, na estabilidade oxidativa e no perfil sensorial do azeite (Kostelenos, G. & Kiritsakis, A., 2017).

Os ácidos gordos são compostos orgânicos constituídos por um grupo carboxílico ligado a cadeias hidrocarbonadas e estão presentes no azeite principalmente sob a forma de triacilgliceróis. Estes compostos podem ser classificados como insaturados (ácido oleico, ácido palmitoleico, ácido linoleico) e saturados (palmíticos e ácidos esteáricos), consoante a presença ou ausência de ligações duplas entre átomos de carbono (Unsal et al., 2025). Do ponto de vista da composição lipídica, o azeite apresenta altos níveis de ácidos gordos insaturados, em particular o ácido oleico ($C_{18:1}$), de maior predominância (70-85%), seguido de ácido palmitoleico ($C_{16:1}$) e ácido linoleico ($C_{18:2}$) (Rowley et al., 2025).

Conforme a legislação em vigor (Regulamento de Execução UE 2022/2104), a classificação comercial do azeite (azeite virgem extra, virgem ou lampante) baseia-se em

parâmetros físico-químicos e sensoriais específicos. Para que um azeite seja classificado como azeite virgem extra, deve cumprir com critérios quantitativos rigorosos, apresentados na tabela 1. Do ponto de vista sensorial, a mediana de defeitos deve ser igual a zero e a mediana de frutado deve ser superior a zero. No caso de azeites classificados como virgem, são admitidos níveis de acidez $\leq 2,0\%$, IP $\leq 20,0$ mEq O₂/kg de azeite, K₂₃₂ $\leq 2,60$, K_{268/270} $\leq 0,25$, mediana dos defeitos até 3,5 e do frutado superior a zero (Regulamento de Execução UE 2022/2104). Relativamente ao azeite lampante, este apresenta defeitos sensoriais significativos e parâmetros físico-químicos fora dos limites impostos pela legislação, pelo que não é habilitado para comercialização. Estes azeites são submetidos a processos de refinação, após os quais são misturados com azeite virgem extra ou virgem, podendo ser posteriormente comercializados sob a categoria de “azeite”.

Tabela 1 - Valores de referência para a classificação comercial do azeite.

Parâmetros	Virgem Extra	Virgem	Lampante
Acidez (%)	$\leq 0,80$	$\leq 2,0$	$> 2,0$
Índice de Peróxidos mEq O ₂ /kg	$\leq 20,0$	$\leq 20,0$	---
K ₂₃₂	$\leq 2,50$	$\leq 2,60$	---
K ₂₆₈ ou K ₂₇₀	$\leq 0,22$	$\leq 0,25$	---
Análise Sensorial	Md = 0,0 Mf > 0,0	Md $\leq 3,5$ Mf > 0,0	Md > 3,5

Mf - Mediana do frutado; Md – Mediana dos defeitos

Adaptado do Regulamento (UE) 2022/2104 de 29 Julho de 2022.

2.3 Importância das Cultivares de Azeitona

Em Portugal encontram-se descritas e referenciadas um total de 65 cultivares de oliveira, cultivadas para a produção de azeite, de azeitona de mesa, ou para ambos os fins (DGAV, 2025). Entre as cultivares de maior relevo na olivicultura nacional destacam-se a Bical de Castelo Branco, Carrasquenha, Cobrançosa, Cordovil de Castelo Branco, Galega vulgar, Madural, Negrinha de Freixo, e Verdeal Transmontana. Cada uma destas cultivares apresenta características morfológicas, agronómicas e sensoriais distintas, que se refletem diretamente na composição e qualidade do azeite produzido (Rodrigues et al., 2022).

Algumas destas cultivares apresentam ampla distribuição no território continental, sendo exploradas em várias das principais regiões olivícolas, enquanto outras apresentam

difusão mais limitada, frequentemente associadas a áreas geográficas de menor dimensão (Figura 1). Importa ainda salientar a crescente relevância que cultivares de outros países têm assumido nos sistemas de produção intensivo e alta densidade, particularmente na região do Alentejo. Entre estas, destacam-se a Arbequina e a Picual, de origem espanhola, e a Koroneiki, de origem grega.

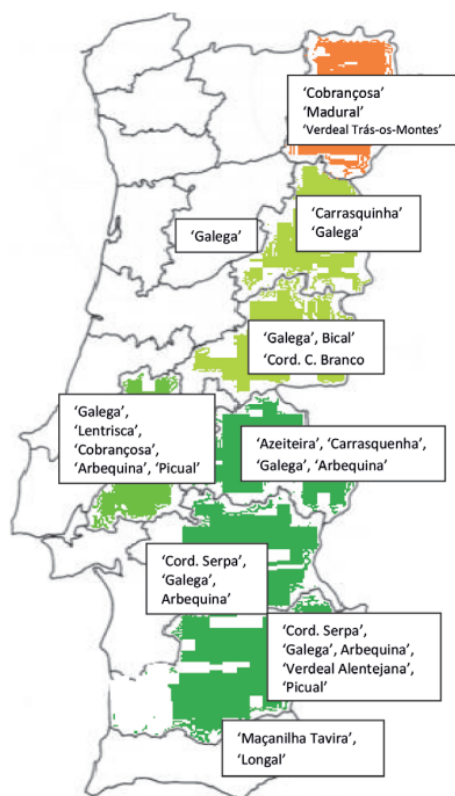


Figura 1 - Mapa com a distribuição de cultivares de oliveira em Portugal continental. Fonte: “Recursos genéticos da oliveira e sua preservação no contexto das alterações climáticas”, de Cordeiro, A & Inês, C (2016).

2.3.1 Cobrançosa

A Cobrançosa é uma cultivar de origem transmontana, sendo uma das cultivares mais representativas dos azeites com Denominação de Origem Protegida de Trás-os-Montes (Fernandes-Silva et al., 2013). Além da predominância nessa região, a Cobrançosa encontra-se distribuída também pelas regiões do Ribatejo, Beira Alta e Alentejo, cultivada para produção de azeite e azeitona de mesa. Do ponto de vista agronómico, trata-se de uma cultivar de porte médio e hábito de crescimento amoitado, caracterizado por elevada produtividade e adaptada à colheita mecânica, nomeadamente com recurso a vibrador. Apresenta tolerância ao frio, a solos calcários e alcalinos, mas suscetível à seca e à salinidade. Relativamente à incidência a doenças, apresenta moderada suscetibilidade ao olho-de-pavão e tuberculose (Leitão et al, 1986). Os frutos

são de tamanho médio e elipsoidais, com peso entre 2,5 e 5g, com rendimento em azeite variando entre 18 a 22%. Os azeites produzidos a partir desta cultivar são amplamente reconhecidos pela sua elevada qualidade sensorial e estabilidade oxidativa (Leitão et al, 1986). Caracterizam-se por um perfil sensorial com aroma e sabor fresco, sensações verdes, amargo e picante (Fernandes-Silva, 2012).

2.3.2 Carrasquenha

A carrasquenha é uma cultivar tradicional do Alentejo, bastante produtiva e adaptada a diversos tipos de solo, exceto terrenos muito húmidos. Trata-se de uma cultivar de porte pequeno, com arborescência amoitada. Do ponto de vista agronómico, apresenta pouca suscetibilidade ao ataque da mosca-da-azeitona e da gafa. Os frutos são de tamanho médio a grande com formato elipsoidal e massa média entre 3-5 g (Leitão et al, 1986). Os azeites desta cultivar distinguem-se pela suavidade e harmonia sensorial, com frutado médio e notas de erva e frutos secos, geralmente menos amargos que outras cultivares (Vaz-Freire et al., 2008).

2.3.3 Cordovil de Castelo Branco

Típica do Alentejo e presente na Beira Interior, a Cordovil de Castelo Branco é conhecida pelo bom rendimento em azeite e pela adaptação a solos pobres. Trata-se de uma cultivar com porte médio a elevado, e os frutos de formato elipsoidal e massa média entre 3-6 g. Possui uma maturação tardia e uma queda natural reduzida dos frutos, com uma certa resistência ao desprendimento, o que a torna favorável à colheita mecanizada. Do ponto de vista fitossanitário, a Cordovil de Castelo Branco apresenta suscetibilidade à tuberculose, à gafa e à mosca da azeitona (Leitão et al, 1986).

Os azeites da Cordovil de Castelo Branco apresentam frutado médio a intenso, com notas de maçã verde, erva e picante. Do ponto de vista químico, apresentam teor relevante de ácido oleico e de fenóis totais (Fernández et al., 2023).

2.3.4 Negrinha de Freixo

A cultivar Negrinha de Freixo encontra-se disseminada nas regiões de Trás-os-Montes e Beira Interior, sendo maioritariamente utilizada para consumo como azeitona de mesa. Apesar de também poder ser destinada à produção de azeite, o seu baixo rendimento em óleo e a favorável relação polpa: caroço tornam-na mais adequada para a produção de azeitona de mesa (Leitão et al, 1986). As árvores desta cultivar apresentam

porte pequeno a médio, com ramificações de tamanho intermédio, destacando-se pela elevada produtividade e regularidade de produção.

Possui frutos arredondados e de peso variando de 3 a 5 g. Trata-se de uma cultivar de maturação precoce, com acentuada queda natural dos frutos, podendo ser utilizada a colheita mecânica, desde que realizada nas fases iniciais de maturação. Em termos fitossanitários, apresenta elevada resistência ao ataque da gafa e da mosca da azeitona e resistência moderada à tuberculose (Leitão et al, 1986). Os azeites obtidos a partir desta cultivar caracterizam-se por um perfil sensorial suave e aromático, com frutado predominantemente maduro, notas de frutos secos e maçã, e baixa intensidade de amargo e picante (Rodrigues et al., 2022).

2.3.5 Madural

A Madural é uma cultivar característica da região de Trás-os-Montes, encontrando-se também amplamente difundida na Beira Interior. Apresenta elevados níveis de produtividade, embora de frutificação irregular, sendo adequada à colheita mecanizada. Trata-se de uma cultivar tolerante ao frio intenso, porém suscetível à cochonilha, ferrugem e mosca-da-azeitona.

A oliveira apresenta um porte médio com ramificações médias ou curtas. O fruto é de formato elipsoidal com peso entre 2 a 4g (Leitão et al, 1986).

Os azeites desta cultivar caracterizam-se por um perfil sensorial intenso, com frutado verde, notas de erva fresca, tomate e frutos secos, bem como um amargo e picante persistentes. Estudos apontam para elevados teores de ácido linoleico e de fenóis totais, responsáveis pela boa estabilidade oxidativa (Fernández et al., 2023).

2.3.6 Bical de Castelo Branco

A Bical de Castelo Branco é uma cultivar presente em olivais tradicionais do centro e norte de Portugal. As árvores apresentam porte médio a grande, com ramificação alongada, fruto elipsoidal de tamanho médio ou grande e forma pontiaguda. Esta cultivar é ligeiramente suscetível à mosca-da-azeitona e à gafa. É uma cultivar apropriada para colheita por vibração devido à relativa resistência ao desprendimento do fruto (Leitão et al, 1986). Os frutos são frequentemente destinados à conserva, apresentando um peso médio entre 4 e 6 g (Leitão et al, 1986).

Os azeites da cultivar Bical de Castelo Branco caracterizam-se por um frutado médio, com notas herbáceas suaves, ligeiro amargor e picante equilibrado. São descritos como azeites harmoniosos, mas com menor intensidade que Cobrançosa ou Madural (Martins et al., 2017).

2.3.7 Verdeal Transmontana

A Verdeal Transmontana é uma cultivar típica de Trás-os-Montes, muito produtiva em solos mais fundos e férteis. Árvores de porte médio e de ramificações de tamanho médios, apresenta baixa tolerância à seca, produção tardia em terras frias e maturação desigual. Por possuir resistência ao desprendimento do fruto, a colheita por vibração é a mais apropriada (Leitão et al, 1986).

Fruto de forma elipsoidal de peso entre 2 e 4 g e rendimento em azeite de 20 a 25%. Em termos fitossanitários, a cultivar é suscetível à tuberculose e à mosca da azeitona (Leitão et al, 1986). Os azeites produzidos por esta cultivar são reconhecidos pela sua elevada qualidade, com frutado verde intenso e notas sensoriais de folha, erva cortada e frutos verdes. Apresenta teores elevados de fenóis totais, conferindo robustez, amargor e picantes marcantes. Também apresenta boa estabilidade oxidativa, sendo considerada uma cultivar de excelência para azeites monovarietais (Malheiro et al., 2018).

2.4 Fatores que influenciam a composição química e sensorial do azeite

A composição e qualidade do azeite resultam da interação complexa entre fatores genéticos, agronômicos, ambientais e tecnológicos. A compreensão desta interação é, por isso, fundamental para a valorização do produto e para a sua diferenciação com base na origem geográfica (Caporaso, 2016).

A cultivar de oliveira cultivada desempenha um papel determinante ao influenciar diretamente a composição lipídica, o teor de fenóis totais e o perfil de compostos voláteis. Consequentemente, diferentes cultivares apresentam características sensoriais e químicas distintas, o que se reflete em variações na estabilidade oxidativa e na intensidade dos atributos aromáticos e gustativos.

Para além da componente genética, os fatores ambientais desempenham igualmente um papel preponderante na composição do azeite ao regular o metabolismo secundário da planta e, consequentemente, a síntese de compostos bioativos característicos da composição do azeite. Os solos, enquanto fonte de nutrientes, minerais, e recursos hídricos essenciais ao desenvolvimento da oliveira, desempenham um papel

fundamental na diferenciação dos azeites produzidos. As características físico-químicas do solo, como pH, matéria orgânica e textura, influenciam a biodisponibilidade e absorção de nutrientes essenciais pela raiz, com implicações para a atividade de enzimas envolvidas na síntese de lípidos (Damak et al., 2021).

As condições climáticas, nomeadamente temperatura, precipitação, radiação solar, exercem igualmente uma influência determinante na qualidade do azeite, afetando os processos metabólicos e fisiológicos da oliveira ao longo do ciclo vegetativo. Estudos realizados em oliveiras centenárias no Vale do Côa demonstraram que a variabilidade climática anual se reflete na composição de ácidos gordos, no teor de fenóis totais, na estabilidade oxidativa e na atividade antioxidante do azeite, evidenciando a forte interdependência entre a qualidade do produto e o ambiente de produção (Bortoluzzi et al., 2023). De modo geral, azeites provenientes de regiões de clima mais frio tendem a apresentar maiores teores de antioxidantes naturais e de ácidos gordos monoinsaturados (MUFA), em particular do ácido oleico, bem como uma relação ácido oleico/linoleico mais elevada. Em contrapartida, os azeites produzidos em zonas de clima mais quente tendem a ser mais ricos em ácidos gordos saturados (SFA) e polinsaturados (PUFA), destacando-se, respetivamente, o ácido palmítico e o ácido linolénico (Bortoluzzi, 2023).

A altitude constitui também um fator ambiental de relevo, uma vez que influencia a amplitude térmica e a incidência de radiação solar. Olivais localizados em altitudes mais elevadas estão frequentemente expostos a climas mais frios e a outros fatores de stress abiótico, o que pode induzir alterações na composição de ácidos gordos, nomeadamente o aumento do ácido oleico (Rodrigues et al., 2023). Estudos realizados na cultivar Chetoui indicam que olivais localizados acima de 500 m de altitude apresentam teores significativamente mais elevados de fenóis totais, como a oleuropeína, e de outros compostos antioxidantes (Zakraoui et al., 2023). Neste contexto, estudos têm demonstrado que a composição do azeite pode ser mais influenciada pela região de produção do que pela própria cultivar, permitindo a sua discriminação e rastreabilidade com base em determinados marcadores químicos (Damak et al., 2021; Rocha, et al., 2026). Neste contexto, demonstrou-se que os azeites da Beira Interior apresentam maiores teores de compostos voláteis e intensidades olfativas superiores quando comparados com azeites de Trás-os-Montes ou do Alentejo Interior, permitindo a sua discriminação geográfica com elevada sensibilidade estatística com recurso a ferramentas analíticas, como o nariz eletrónico (e-nose) (Rodrigues et al., 2024). No entanto, a identificação da origem geográfica dos azeites é desafiante, uma vez que fatores como o estado de

maturação da azeitona, a variabilidade intra-varietal e as condições do processo de extração de azeite influenciam de forma significativa o perfil químico e volátil do produto, moldando o conjunto de atributos sensoriais (Silva et al., 2022).

Paralelamente, práticas culturais, como a irrigação, a densidade de plantação e a fertilização, influenciam diretamente o desenvolvimento e a maturação do fruto, bem como a acumulação de compostos bioativos. Estas práticas condicionam significativamente os atributos químicos e sensoriais do azeite, contribuindo para sua qualidade final (Rodrigues et al., 2018). Em contexto industrial, as condições de processamento das azeitonas para extração de azeite, nomeadamente a temperatura, o tempo de batadura e a exposição ao oxigénio, desempenham um papel determinante na composição e nos atributos organoléticos do azeite. Se as condições de processamento durante a batadura não forem adequadamente controladas, podem induzir alterações quantitativas e qualitativas nos compostos bioativos do azeite, favorecendo processos de degradação oxidativa e reações enzimáticas que resultam na formação de defeitos sensoriais (Caporaso, 2016).

2.5 Influência da Região

Trás-os-Montes

Localizada no nordeste de Portugal, a região de Trás-os-Montes ocupa uma área aproximada de 12.283 km² e faz uma fronteira natural com a Espanha. A sua topografia é bastante complexa, apresentando variações significativas de altitude em relação ao nível do mar, que vão desde cerca de 70 m, no extremo oeste do vale do rio Douro, até 1 486 m, na Serra de Montesinho, no extremo nordeste da região (Crespo et al., 2025).

A orografia da região influencia diretamente as variações climáticas locais, a formação dos solos e, consequentemente, a fisiologia das plantas. Os solos da região são predominantemente constituídos por litossolos e cambissolos, ambos pouco desenvolvidos e com baixo teor de matéria orgânica, características típicas de áreas montanhosas e de relevo acidentado (Silveira et al., 2022).

O clima predominante em Trás-os-Montes é classificado como mediterrânico, caracterizado por verões quentes e secos, frequentemente com temperaturas superiores a 30 °C, e invernos frios e chuvosos (Crespo et al., 2025).

O território de Trás-os-Montes é constituído pelos seguintes concelhos: Alfândega da Fé, Bragança, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Vila Flor, Vimioso e Vinhais (Figura 2). Nesta região encontram-se reconhecidos 23 produtos

com Denominação de Origem Protegida (DOP) e Indicação Geográfica Protegida (IGP) pela União Europeia (CIM-TTM, 2026).

O setor da olivicultura na região caracteriza-se sobretudo por oliveiras tradicionais de sequeiro, com baixa densidade de plantação. A região de Trás-os-Montes é ainda caracterizada pelo cultivo de um conjunto de cultivares típicas e autóctones que conferem a tipicidade dos azeites aí produzidos. São exemplos das principais cultivares cultivadas na região a Cobrançosa, Cordovil de Castelo Branco, Madural, Negrinha de Freixo, Verdeal Transmontana e Santulhana (Rodrigues et al., 2020). Atualmente, Trás-os-Montes ocupa a segunda posição entre as maiores regiões produtoras de azeite em Portugal, com uma produção de 199.793 hl de azeite, ficando atrás apenas da região do Alentejo (INE, 2024).

Beira Interior

A região da Beira Interior, localizada no centro de Portugal, apresenta um perfil agrícola fortemente influenciado pelas suas condições edafoclimáticas. A diversidade altimétrica, que varia entre vales de menor cota e áreas montanhosas frequentemente acima de 700 metros de altitude, contribui para a existência de múltiplos microclimas, que influenciam de forma significativa a aptidão agrícola da região (Poço, 2021).

O clima é tipicamente mediterrânico, caracterizado por verões quentes e secos e invernos frios e chuvosos. Estas condições impõem limitações ao desenvolvimento das culturas agrícolas, exigindo adaptações específicas ao regime hídrico e térmico predominante (Arsénio & Madeira, 2022).

A atividade agrícola na região desenvolve-se predominantemente em regime de sequeiro e com baixa densidade de plantação. Neste contexto, as culturas permanentes assumem particular relevância, destacando-se a vinha, o olival e o amendoal, que se encontram bem-adaptados às condições edafoclimáticas da região (Silva, 2011).

O território da Beira Interior é constituído pelos concelhos de Aguiar da Beira, Almeida, Belmonte, Castelo Branco, Celorico de Basto, Covilhã, Figueira de Castelo Rodrigo, Fornos de Algodres, Fundão, Gouveia, Guarda, Mação, Manteigas, Mêda, Oledo, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Penamacor, Pinhel, Proença-a-Nova, Sabugal, Seia, Sertão, Trancoso, Vila de Rei e Vila Velha de Ródão (Figura 2).

Do ponto de vista económico, a região destaca-se no setor vitivinícola, nomeadamente pela Denominação de Origem Protegida Beira Interior, cujos vinhos

refletem a influência das condições climáticas rigorosas e dos solos predominantemente graníticos e xistosos (Arsénio & Madeira, 2022).

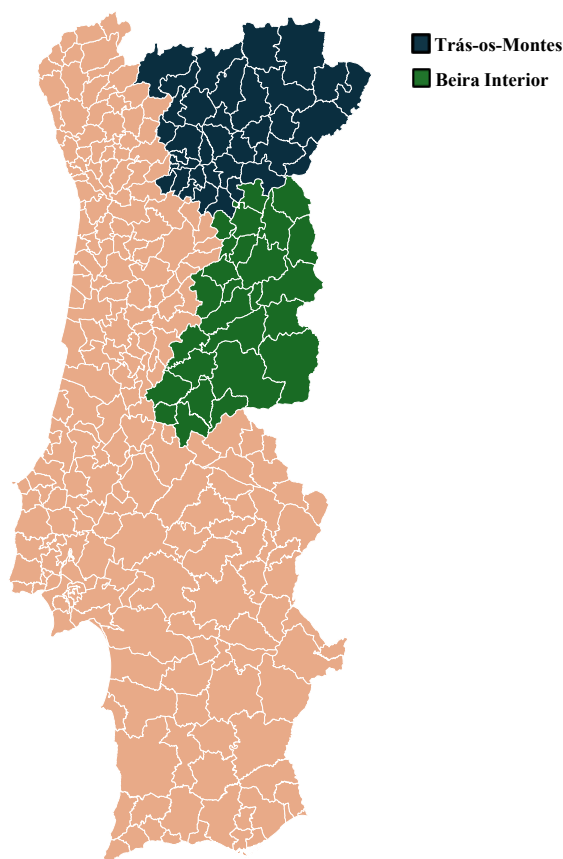


Figura 2 - Mapa representando os concelhos que formam as regiões de Trás-os-Montes e Beira Interior.

2.6 Justificação do estudo

A qualidade química e sensorial do azeite é influenciada por um conjunto de fatores que interagem entre si, como a cultivar de oliveira, as condições edafoclimáticas, práticas agronómicas e os processos de extração do azeite. Torna-se, por isso, importante compreender melhor de que forma a interação entre estes fatores resulta na diferenciação das características do azeite produzido em diferentes regiões.

As especificidades dos azeites e outros produtos alimentares, produzidos em diferentes regiões, são reconhecidas e protegidas na União Europeia através de selos de certificação, de forma a promover e valorizar as suas características únicas associadas à sua origem geográfica (Comissão Europeia, 2025). Para tal, foi criado o selo de denominação de origem protegida (DOP), atribuído a azeites cujas etapas de produção, transformação e elaboração ocorrem integralmente em uma área geográfica específica, caracterizada por condições únicas de solo e clima, e elaborados a partir de cultivares

específicas de oliveiras. A combinação desses fatores, juntamente com os cuidados na colheita, no transporte até o lagar e no processo de produção, resulta em um azeite com propriedades químicas e sensoriais distintas de acordo com a origem geográfica. Em Portugal, são seis as DOPs certificadas para azeite, nomeadamente, azeite de Trás-os-Montes, azeite da Beira Interior, azeite do Ribatejo, azeite do Norte Alentejo, azeite de Moura e azeite do Alentejo Interior.

Paralelamente, a Indicação Geográfica Protegida constitui um regime mais flexível, exigindo apenas que pelo menos uma das fases de produção seja realizada na região delimitada. Porém, o produto deve manter uma ligação evidente entre as suas características e a sua origem geográfica (Comissão Europeia, 2025). Ambas as modalidades de certificação desempenham um papel fundamental no reconhecimento de práticas sustentáveis e no desenvolvimento rural, valorizando os produtos tradicionais e reforçando os objetivos do Pacto Ecológico Europeu (Regulamento UE, 2024/1143).

A scenic landscape photograph featuring a large, mature pine tree on the right side of the frame. The tree's trunk is thick and textured, with some small holes visible. Its branches spread out, casting shadows over the scene. In the background, a paved road runs horizontally across the middle ground. Beyond the road, there is a vast, green landscape with various types of trees and shrubs. In the far distance, a range of mountains is visible under a blue sky with scattered white clouds. The overall atmosphere is peaceful and natural.

Capítulo 3 – Material e Métodos

3. Material e Métodos

3.1 Amostragem

Para o presente trabalho, foram seleccionadas duas importantes regiões produtoras de azeite em Portugal: Trás-os-Montes e Beira Interior. Em cada uma das regiões foram amostrados olivais de diferentes cultivares, de forma a representar a diversidade característica de cada zona. Na região de Trás-os-Montes, foram seleccionados olivais de Cobrançosa, Negrinha de Freixo, Verdeal Transmontana e Madural. Na região de Beira Interior foram seleccionados olivais das cultivares Cordovil de Castelo Branco, Bical de Castelo Branco, Negrinha de Freixo, Verdeal, Carrasquenha e Madural. Os olivais amostrais encontram-se distribuídos por diferentes concelhos de cada região, totalizando 35 concelhos (Figura 3).

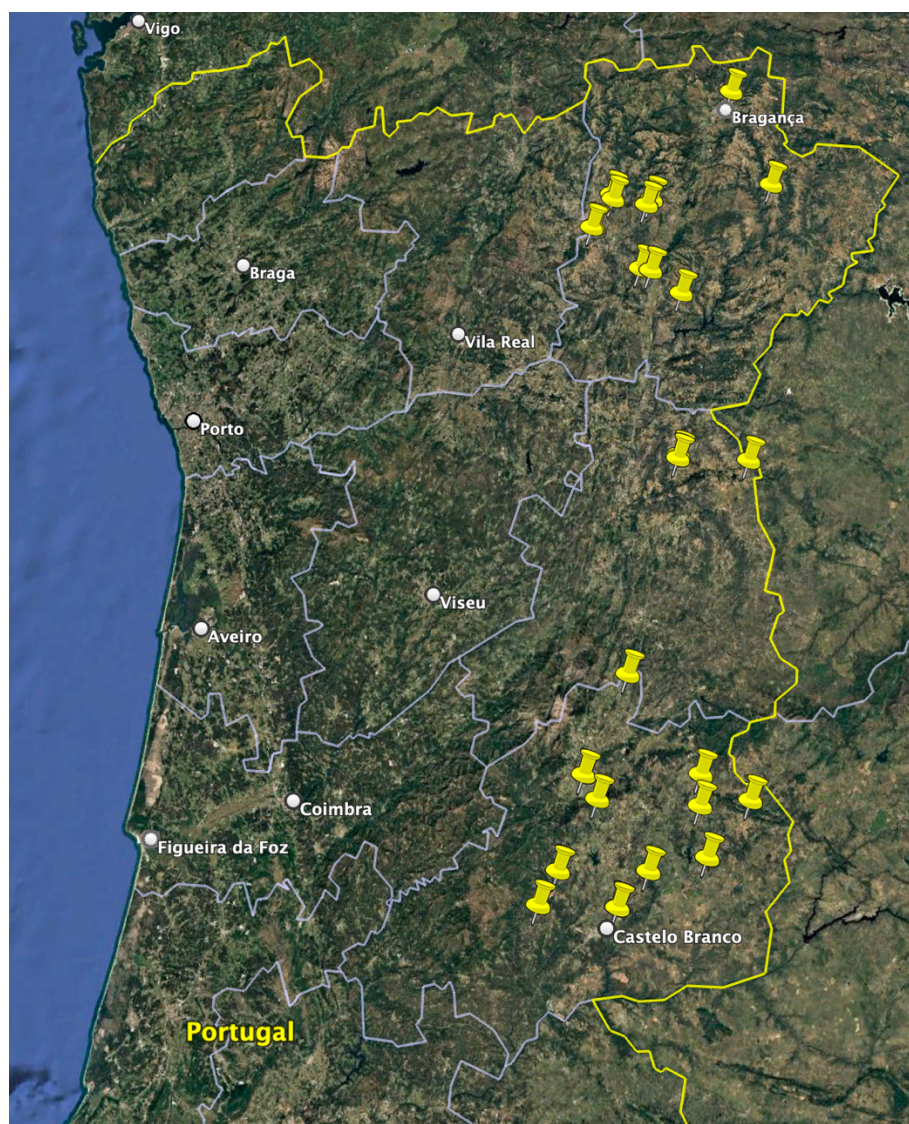


Figura 3 - Distribuição geográfica das oliveiras seleccionadas para o presente estudo.

A colheita das azeitonas de cada olival foi realizada manualmente, procedendo-se à separação das azeitonas por cultivar. No total, foram recolhidas 47 amostras correspondentes a sete cultivares distintos.

O índice de maturação (IM) foi determinado de acordo com as diretrizes do Conselho Oleícola Internacional (COI, 2011), com o objetivo de determinar a fase de maturação das azeitonas no momento da colheita. Este método baseia-se na avaliação visual da cor da epiderme e da polpa das azeitonas, classificando uma amostra de 100 frutos em oito classes (C) distintas:

C0: Epiderme de cor verde-escuro

C1: Epiderme de cor verde-amarelado

C2: Epiderme de cor verde com manchas avermelhadas em menos da metade da superfície da azeitona.

C3: Mais de metade da superfície do fruto de cor avermelhada ou roxa.

C4: Epiderme negra com polpa branca

C5: Epiderme negra com menos da metade da polpa de cor roxa

C6: Epiderme negra com quase toda polpa roxa até o endocarpo

C7: Epiderme negra com toda polpa roxa até ao endocarpo

O índice de maturação foi calculado segundo a Equação (1), onde A, B, C, D, E, F, G e H correspondem ao número de azeitonas observadas em cada uma das respetivas categorias de maturação:

Eq. 1

$$IM = \frac{Ax0 + Bx1 + Cx2 + Dx3 + Ex4 + Fx5 + Gx6 + Hx7}{100}$$

3.2 Extração de azeite

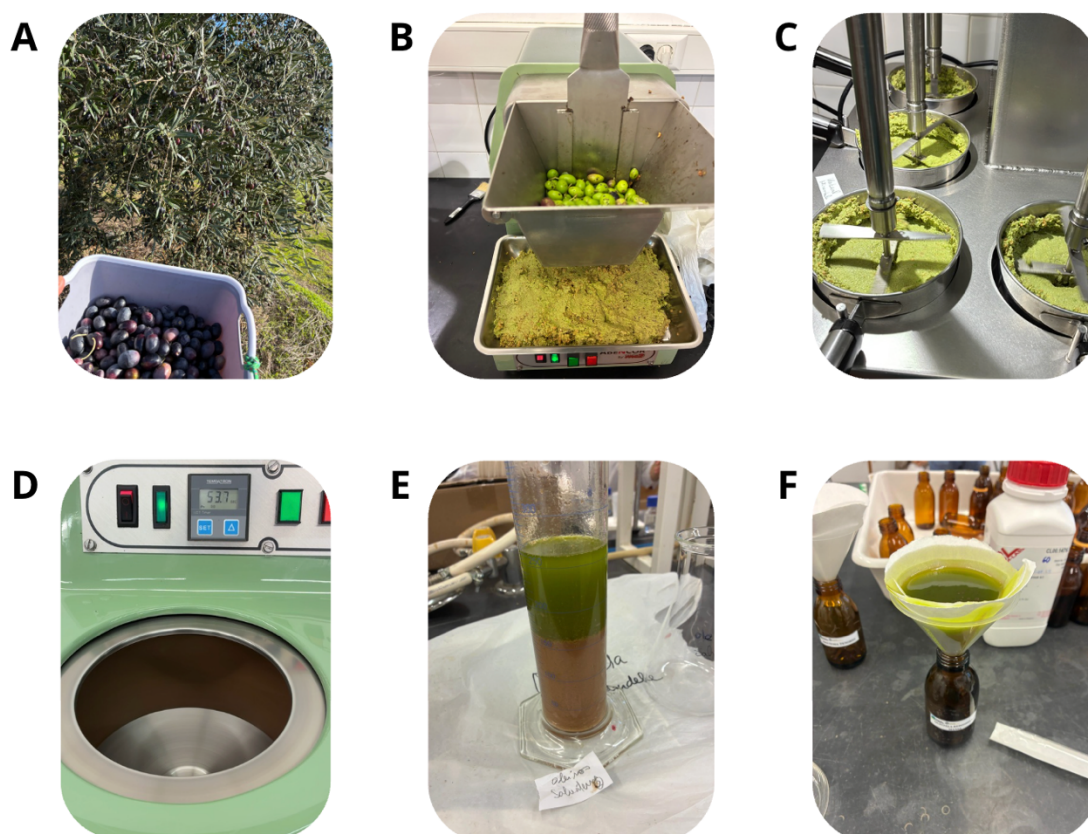
Para as amostras da região de Trás-os-Montes extração dos azeites foi realizada de acordo com o método descrito por (Rodrigues et al., 2020). Após a colheita, procedeu-se à extração de azeite utilizando um sistema Abencor (Comercial Abengoa S.A., Sevilha, Espanha), instalado no laboratório AgroBioTecnologia-Azeites da Escola Superior Agrária de Bragança., Já para as amostras da região da Beira Interior foram extraídas nas

mesmas condições, porém utilizou do sistema Abencor instalado no Instituto Politécnico de Castelo Branco (IPCB).

O sistema Abencor (Figura 4) é composto por um moinho de martelos (MM-100, MC2., Sevilha, Espanha), equipado com um crivo de 5,5 mm de diâmetro e um motor monofásico de 1,5 kW; uma termobatedora (Thermo-Mixer TB-100, MC2., Sevilha, Espanha), com oito painéis de mistura, possuindo controlo de temperatura e hélices individuais para a homogeneização da pasta; e uma centrífuga (Centrifugal Machine CF-100, MC2., Sevilha, Espanha), com motor trifásico de 1,5 kW, tambor em aço inoxidável, rotação máxima de 3500 rpm e temporizador automático.

As azeitonas foram moídas e cerca de 700 g de pasta foram transferidos para cada unidade da termobatedora, onde permaneceram em malaxação contínua por 30 minutos, em banho-maria a 25 °C. Após este período, a pasta foi submetida à centrifugação e posterior decantação, para recolha do azeite.

O azeite obtido foi filtrado com papel de filtro (Whatman n.º 4) e com sulfato de sódio anidro, com o objetivo de remover partículas sólidas e água. Posteriormente, as



amostras de azeite foram armazenadas em frascos de vidro âmbar com capacidade de 100

Figura 4 - Processo de extração de azeite pelo sistema Abencor. Colheita dos frutos (A), maceração das azeitonas no moinho (B), termobatedura (C), centrifugação (D), decantação (E) e filtração do azeite (F).

mL, protegidas da luz e mantidas à temperatura ambiente (20–25 °C) até à realização das análises. As análises de qualidade, ácidos gordos e tocoferóis foram realizadas pelos membros do Instituto Politécnico de Castelo Branco, uma vez que esse trabalho foi feito no âmbito do projeto Olivotec e o Instituto Politécnico de Bragança ficou responsável de realizar as análises de composição volátil por cromatografia gasosa, perfil volátil pelo nariz eletrônico e análise sensorial.

3.3 Análise Sensorial Descritiva

A análise sensorial dos azeites foi realizada de acordo com as recomendações especificadas pelo Conselho Oleícola Internacional (COI/T.20/ Doc. de 22 Novembro 2005), com algumas modificações descritas por Rodrigues et al., (2020).

A análise sensorial descritiva foi conduzida por um painel de provadores treinados da Escola Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, composto de 6 homens e 2 mulheres com idades entre 25 e 54 anos a fim de assegurar a consistência e a reprodutibilidade dos resultados.

As provas sensoriais decorreram em uma sala de provas, com iluminação natural, temperatura controlada e ausência de odores, assegurando condições adequadas para a correta percepção sensorial. A sala de prova possui 8 cabines individuais para realização das análises sensoriais. Utilizaram-se copos oficiais de prova, em conformidade com as normas do Conselho Oleícola Internacional (COI, 2018), de cor azul ou vermelha, de forma a impedir a visualização da cor do azeite. As amostras foram mantidas à temperatura de 28 °C, favorecendo a libertação dos compostos aromáticos e contribuindo para a fiabilidade dos resultados obtidos.

A avaliação sensorial foi realizada com base numa escala de intensidade de 0 a 10, em que 0 corresponde à ausência de sensações e 10 à intensidade máxima percebida para cada atributo. A avaliação incluiu atributos olfativos e gustativos e olfato gustativos. Numa primeira fase, procedeu-se à análise das características olfativas do azeite, avaliando-se as sensações de frutado (verde ou maduro), notas frutadas e herbáceas, bem como a harmonia. Para as sensações gustativas, determinou-se a intensidade dos mesmos parâmetros considerados na fase olfativa, acrescida da avaliação dos atributos doce, amargo e picante. Nas sensações olfato gustativas, foram ainda avaliados os parâmetros de complexidade e persistência, sendo a complexidade associada à combinação e diversidade das sensações positivas percebidas, enquanto a persistência corresponde à duração das sensações que permanecem na boca após a prova da amostra.

3.4 Compostos Voláteis

Para a obtenção do perfil de compostos voláteis e a sua quantificação foi analisado, as amostras de azeite foram analisadas por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC-MS), com a extração dos voláteis feita com recurso a uma micro extração em fase sólida em modo headspace (HS-PME). O cromatógrafo utilizado foi o Shimadzu GC-2010 Plus, acoplado com um espectrómetro de massas Shimadzu GC-MS-QP2010 SE. A coluna usada para a separação dos voláteis foi a TRB-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm) (Teknokroma, Espanha).

Foram pesadas 3g da amostra de azeite em um frasco vedado com um magneto no interior para assegurar agitação de 310 rpm e em banho-maria a 40°C (Figura 5). Após 5 minutos, foram injetados 5 µL do padrão interno (4-metil-2-pentanol, 0,127mg/mL, Sigma-Aldrich). Passados 5 minutos após a injeção do padrão interno, foi inserida uma fibra SPME revestida com divinylbenzene/carbonex/polydimethylsiloxane (DVB/CAR/PDMS, 50/30 µm) da Supelco (Bellefonte, USA) no interior do frasco durante 30 minutos para adsorver os compostos voláteis no headspace do frasco. De seguida, a fibra foi retirada do interior do frasco e injetada e mantida no GC em modo splitless por 10 minutos. Os voláteis foram removidos da fibra por dessorção térmica na porta de injeção do cromatógrafo (220 °C), durante 10 min. A fase móvel utilizada foi composta do gás Hélio com um fluxo linear de 30cm/s e um fluxo total de 24,4mL/min. A rampa de temperaturas utilizadas iniciou no 40°C, com um aumento de 2°C/min até 220°C no tempo de 30min. A fonte de ionização foi mantida a 250 °C com uma energia de ionização de 70 elétron-volts e uma corrente de ionização de 0,1 quilovolt.

Para a identificação dos compostos voláteis foi utilizado a biblioteca da NIST11 (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA), PubChem e ChemSpider. Como critérios de identificação foram consideradas percentagens de similaridade iguais ou superiores a 85%. Para quantificação dos compostos voláteis foi utilizado o pico do padrão injetado e convertido para massa baseado na massa adicionada do padrão, utilizando a equação (3):

Eq. (3)

$$X = \frac{A_x \times C_p}{A_p} :$$

Em que:

X = concentração do composto volátil X, expresso em µg de eq. de padrão interno por g de azeite

A_x = área encontrada do composto volátil X

C_p = concentração de padrão interno adicionado a amostra (μg de padrão interno/g de azeite)

A_p = área do pico do padrão interno



Figura 5 - Preparação das amostras para análise do perfil volátil por cromatografia gasosa acoplada por espectrometria de massa.

3.5 Atividade antioxidantes nos azeites

Para avaliação da atividade antioxidante das amostras de azeite extraídos foram utilizados dois métodos complementares: atividade sequestradora pelo radical livres de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), e o método de Folin-Ciocalteu para determinação do teor em fenóis totais.

3.5.1 Preparação do extrato por microextração

A atividade antioxidante foi avaliada utilizando extratos de azeite obtidos por microextração com metanol-água (Pizarro et al., 2013). Para tal, foram pesados 0,50 g de amostra de azeite, colocados em tubos Eppendorf e adicionou-se 1 mL de solução metanol: água (80:20, v/v). Após agitação em vortex, as amostras foram centrifugadas (VWR Micro Star 21R) por 5 minutos a 13200 rpm. O sobrenadante foi retirado e transferido para um tubo de Falcon. Esse processo foi repetido duas vezes, perfazendo um total de 3 mL de extrato. Posteriormente, metanol: água (80:20, v/v) foi adicionado

aos tubos de Falcon até perfazer um volume final de 5 mL. Após a extração, os tubos de Falcon foram envolvidos em papel de alumínio para proteger da exposição luminosa e mantidos a 4 °C (Figura 6).

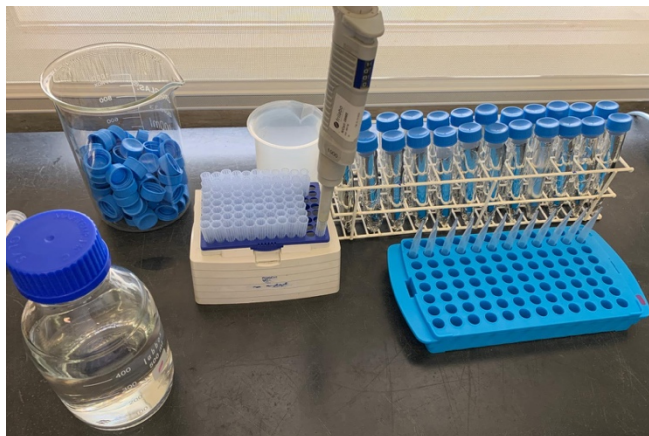


Figura 6 - Preparação de extrato para determinação da atividade antioxidante.

3.5.2 Determinação da percentagem de inibição do radical livre 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH)

Esse método avalia a capacidade da amostra em inibir o radical livre DPPH, (Figura 7). Foram transferidos 500 µL do extrato previamente obtido (seção 3.4.1) para tubos de ensaio. Ao extrato foram adicionados 3,5 mL da solução de DPPH a 0,06 mM. Para o branco foram transferidos 500 µL de metanol: água (80:20, v/v) para o tubo de ensaio, juntamente com 3,5 mL da solução de DPPH a 0,06 mM. As soluções foram agitadas por vortex e mantidas no escuro por 30 min. Após esse tempo, os valores de absorvância foram lidos no espectrofotômetro (UV-1280 Shimadzu) a um comprimento de onda de 517 nm. Cada amostra foi analisada em duplicado. O efeito bloqueador de radicais livres de DPPH foi calculado como percentagem de inibição da atividade do DPPH, de acordo com a Equação (2).

Eq. (2)

$$\% \text{ inibição} = \frac{A(\text{branco}) - A(\text{amostra})}{\text{Branco}} \times 100$$

Em que:

$A(\text{branco})$ – valor da absorvância do branco, sem extrato

$A(\text{amostra})$ – valor da absorvância da amostra com extrato.



Figura 7 - Preparação de amostras para avaliação da atividade sequestradora pelo radical DPPH.

3.5.3 Teor de Fenóis totais

Para a determinação do teor em fenóis totais foram adicionados 1500µL de água destilada, 100 µL do reagente Folin-Ciocalteu e 100µL de extrato. Para o branco, o extrato foi substituído pela solução metanol: água (80:20, v/v). As amostras foram agitadas por vortex e deixadas a repousar por 3 minutos. Em seguida, foram adicionados 300 µL de carbonato de sódio 20% (Na_2CO_3), a solução agitada no vortex e mantida no escuro por 60 minutos. De seguida, as absorvâncias das amostras foram lidas no espectrofotómetro UV-1280 (Shimadzu) a 765 nm. Cada amostra de azeite foi analisada em duplicado. Os resultados foram apresentados em mg de ácido gálico por kg de azeite.

3.6 Estabilidade Oxidativa

A estabilidade oxidativa das amostras de azeite foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Rodrigues et al., (2016). Foram pesados 3 g de azeite para tubos de vidro que foram montados no equipamento Rancimat 892 (Methrom, Suíça) e expostos a temperaturas de $120 \pm 1,6$ °C e a um fluxo de ar de 20 L/h (Figura 8). Os compostos voláteis emitidos pelo azeite como resultado da exposição às condições atrás descritas são transportados pelo fluxo de ar e depositados num frasco contendo 60 ml de água destilada. A solubilização dos compostos voláteis na água destilada induz um aumento na sua condutividade elétrica, constantemente monitorizado pelo aparelho. O período decorrido até atingir-se o ponto de inflexão da curva de condutividade é registado (horas),

correspondente ao valor de estabilidade oxidativa da amostra. Cada amostra de azeite foi analisada em duplicado.



Figura 8 - Equipamento Rancimat para determinação da estabilidade oxidativa.

3.7 E-Nose

O nariz eletrônico (E-nose) é um dispositivo utilizado na avaliação da qualidade do azeite, permitindo a detecção de defeitos, a caracterização da intensidade dos atributos olfativos e a identificação de possíveis adulterações, com base no perfil de compostos voláteis do azeite (Amini et al., 2025). Este tipo de sistema tem demonstrado elevada eficácia na monitorização de processos de oxidação e na discriminação da origem geográfica dos azeites, explorando a assinatura volátil característica associada a diferentes regiões de produção (Rodrigues et al., 2024).

O nariz eletrônico utilizado neste estudo contém múltiplos sensores, conforme descrito por Teixeira et al., (2021). O dispositivo é constituído por uma câmara com temperatura controlada a 35 °C, que contém 16 sensores comerciais semicondutores de óxido metálico (MOS) (Tabela 2). O dispositivo contém ainda uma placa de aquecimento para incubação das amostras (28 °C), de modo a promover a vaporização dos compostos voláteis. O transporte dos voláteis desde o frasco da amostra até à câmara dos sensores foi assegurado por uma bomba de vácuo de diafragma (SC3502PM, SKOOCOM, China) e utilizada também para a limpeza do sistema e dos sensores, aplicando uma corrente de ar constante até que fosse obtida uma linha de base de detecção estável. A resposta dos sensores é registada sob a forma de variações da resistência elétrica (ohms, Ω) causadas pelo contato do sensor com os compostos voláteis redutores ou oxidantes, alterando a resistência elétrica no circuito. A resistência elétrica é registrada através de um sistema

de aquisição de dados Agilent, operado através do software Agilent BenchLink Data Logger, permitindo que o sinal obtido pelo sensor se torne um valor (Teixeira et al., 2021).

Para as análises, foi adicionado 0,5 mL da amostra de azeite em um frasco de vidro de 25 mL que fica armazenado na placa de aquecimento a 28°C durante 13 minutos. Durante esse período, os compostos voláteis do azeite são libertados. Em seguida, os voláteis da amostra foram direcionados para a câmara de detecção, onde entram em contato com os sensores comerciais semicondutores de óxido metálico (MOS) durante 2,5 minutos, com registos de variação da resistência elétrica (ohms, Ω) a cada 4 segundos (Teixeira et al., 2021).

Tabela 2 - Sensores usados no E-Nose (Teixeira et al., 2021).

Nº	Sensor	Detected gases
1	MQ2	Detection of flammable gases and vapors, sensitive to propane, butane, methane, smoke, alcohol, hydrogen and carbon monoxide.
2	MQ2B	Detection similar to the MQ2 (propane, butane, methane, smoke, alcohol, hydrogen and carbon monoxide), showing higher sensitivity to the target gas.
3	MQ3B	Detection of alcohol, with high sensitivity to methanol and ethanol.
4	MQ4	Detection of combustible gases, especially propane, butane and methane.
5	MQ4B	Detection similar to the MQ4, intended for the detection of propane, butane and methane.
6	MQ6	Detection of liquefied petroleum gas (LPG), propane, isobutane and liquefied natural gas.
7	MQ5B	Detection of combustible gases, including LPG, natural gas and coal gas.
8	MQ8	Detection with high sensitivity to hydrogen and low sensitivity to LPG, alcohol and smoke.
9	MQ9B	Semiconductor sensor for the detection of carbon monoxide, methane, propane and other combustible gases.
10	MQ7B	Detection of carbon monoxide (CO).
11	MQ5	Detection of flammable gases, including LPG, natural gas, methane, propane and butane, showing low sensitivity to alcohol and cigarette smoke.
12	MQ9	Detection of flammable gases, including carbon monoxide, methane, propane, LPG, natural gas and coal gas.

13	MQ135	Detection of nitrogen compounds, nitric oxide, alcohol, benzene, carbon dioxide and smoke (air quality monitoring).
14	MQ136	Detection of hydrogen sulfide (H ₂ S).
15	MQ137	Detection of nitrogen compounds, particularly ammonia and related gases.
16	MQ138	Detection of volatile organic compounds, including n-hexane, alcohol, smoke and carbon monoxide.

3.8. Análise estatística

Para avaliar a existência de diferenças significativas entre as amostras selecionadas, os dados referentes à estabilidade oxidativa, DPPH, teor de fenóis totais, análise sensorial, cromatografia gasosa e nariz eletrônico foram submetidos a uma análise estatística. Utilizou-se a análise de variância de um fator (ANOVA *one-way*) para a detecção de diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$). Nos casos em que a ANOVA indicou a presença de diferenças significativas, foram aplicados testes *post hoc* de comparação múltipla de médias, através do teste de Tukey. Além disso, foram aplicadas Análise de Componentes Principais (PCA:3D e PCA:2D) com os dados de atividade antioxidante e rancimat. Adicionalmente, foram aplicadas três Análises Discriminantes Lineares (LDA), com base nos resultados da análise sensorial, nariz eletrônico e perfil volátil, para avaliar a capacidade de discriminação das amostras com base nos parâmetros analisados e a identificação dos parâmetros mais relevantes na diferenciação entre cultivares e região. Os sub-conjuntos de parâmetros utilizados para o modelo foram identificados através do algoritmo meta-heuristic simulated annealing (SA). O desempenho dos modelos foi avaliado através da validação cruzada leave-one-out e da validação cruzada repetida *K-fold*. A separação entre cultivares e região foi apresentada graficamente através de gráficos bidimensionais das duas primeiras funções discriminantes obtidas a partir dos dados. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software RStudio (versão 3.6.2).

As cultivares Carrasquenha, Cobrançosa e Madural não foram incluídas nas análises de PCA e LDA por não apresentarem o número mínimo de amostras necessárias para realização das análises estatísticas.

A person's arm and hand are visible on the right side of the frame, holding a black plastic crate. The crate is filled with green leafy vegetables, possibly olive leaves, and has a yellow tag attached to it. The background shows a field of olive trees under a blue sky with scattered clouds. The ground is dry and rocky with some low-lying vegetation.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

4. Resultados e Discussão

4.1 Qualidade

Esse trabalho não realizou as análises de qualidade do azeite, as análises de qualidades foram realizadas pelos membros do Instituto Politécnico de Castelo Branco, uma vez que esse trabalho foi feito no âmbito do projeto Olivotec. Com os resultados fornecidos, os azeites se classificam comercialmente como virgem extra.

4.2 Análise Sensorial

Através da análise sensorial das amostras de azeite, foi possível detetar diferenças em algumas sensações olfativas, demonstrando a influência da interação entre cultivar e região de produção no perfil sensorial dos azeites (Tabela 3). São essas as sensações de frutado verde, maçã, tomate, frutos secos e couve que tiveram diferenças notadas estatisticamente, enquanto as outras sensações dentro de cada região não mostraram uma variação significativa.

Em relação à sensação de frutado verde destaca-se a cultivar Cobrançosa que obteve os maiores valores em ambas as regiões. A Negrinha de Freixo foi a cultivar que apresentou menor intensidade de frutado verde em ambas as regiões. Relativamente à cultivar Madural, enquanto na região de Trás-os-Montes apresentou intensidade de frutado verde de $2,28 \pm 0,65$, na região da Beira Interior apresentou um perfil sensorial com frutado maduro ($2,65 \pm 0,07$).

Ao comparar com o estudo da Rocha et al., (2026), nota-se uma diferença de valores do frutado verde para a Cobrançosa onde encontra-se 5,2 para Beira Interior e 5,0 para Trás-os-Montes, o que pode significar uma diferença na colheita, estado de maturação, enquanto nesse estudo obtemos 3,65 e 3,95 respetivamente.

A sensação olfativa de maçã apresentou valores relativamente elevados em diversas cultivares. O maior valor foi observado na cultivar Cobrançosa de Trás-os-Montes ($2,94 \pm 0,40$), seguida pelas cultivares Verdeal Transmontana e Madural da mesma região. Na Beira Interior, a cultivar Madural, Cobrançosa e Verdeal apresentaram o maior valor da sensação olfativa de maçã, no entanto não foram detetadas diferenças estatisticamente significativas entre as cultivares desta região.

A sensação olfativa de tomate teve maior intensidade na cultivar Cobrançosa ($3,40 \pm 0,58$) e Verdeal Transmontana ($2,73 \pm 0,55$). Na Beira Interior, os valores foram, de forma geral, inferiores, porém apresentando a Cobrançosa a cultivar com maior intensidade da região ($3,20 \pm 0,14$).

Para a sensação de frutos secos, foram detetadas diferenças estatísticas em ambas as regiões. A maior intensidade foi registada na cultivar Bical de Castelo Branco ($2,41 \pm 0,29$), seguida pela Cordovil de Castelo Branco da região da Beira Interior ($2,08 \pm 0,48$). Em Trás-os-Montes, as cultivares Madural, Cobrançosa e Verdeal Transmontana apresentaram valores próximos ($1,92 \pm 0,40$, $2,01 \pm 0,29$ e $1,82 \pm 0,29$, respetivamente).

A sensação olfativa de banana foi detetada apenas na cultivar Negrinha de Freixo em ambas as regiões, e na cultivar Cordovil de Castelo Branco e Madural apenas na região da Beira Interior.

A intensidade da sensação de couve apresentou diferenças significativas apenas entre as cultivares de Trás-os-Montes. Neste caso, foi a cultivar Cobrançosa ($3,38 \pm 0,53$) a que apresentou maior intensidade do referido atributo. Na região da Beira Interior, a sensação de couve também foi detetada com maior intensidade na Cobrançosa ($2,90 \pm 0,14$), ainda que, neste caso, não tenha sido estatisticamente diferente das restantes. A sensação de erva fresca teve valores elevados na maioria das amostras, sendo exceção na Carrasquenha e na Negrinha de Freixo, em ambas as regiões, além de possuir diferenças significativas tanto em Trás-os-Montes quanto na Beira Interior.

As cultivares Cobrançosa e Verdeal Transmontana destacaram-se nas notas de tomate, maçã e erva fresca. A cultivar Negrinha de Freixo apresentou maiores valores em notas específicas, como na banana e no maduro, enquanto Bical de Castelo Branco e Cordovil de Castelo Branco apresentaram maiores valores na sensação de frutos secos.

Estes resultados estão de acordo com os estudos realizados em azeites portugueses com denominação de origem protegida (“Azeites da Beira Interior”, “Azeites de Trás-os-Montes”, “Azeites do Alentejo Interior”) que demonstraram que os perfis voláteis e olfativos variam significativamente entre as regiões (Rodrigues et al., 2024). Na análise olfativa, foram detetadas várias sensações distinguíveis entre regiões, com azeites do azeite do Alentejo Interior classificados como frutado maduro, e os “Azeites dos Trás-os-Montes” com elevadas intensidades de frutado verde (Rodrigues et al., 2024).

Tabela 3 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão) dos atributos olfativos avaliados na análise sensorial.

Sensações Olfativas	Cultivar	Frutado verde	Frutado maduro	Maçã	Tomate	Frutos Secos	Banana	Couve	Erva Seca	Erva Fresca	Rama Tomateiro	Folha de Oliveira
Trás-os-Montes	Cobrançosa	3,95 $\pm$ 0,72a	N.D.	2,94 $\pm$ 0,40a	3,40 $\pm$ 0,58a	2,01 $\pm$ 0,29a	N.D.	3,38 $\pm$ 0,53a	N.D.	2,73 $\pm$ 0,62a	2,60 $\pm$ 0,48	1,26 $\pm$ 0,96
	Negrinha de Freixo	0,43 $\pm$ 0,56c	0,85 $\pm$ 1,10	1,31 $\pm$ 0,73b	N.D.	1,44 $\pm$ 0,79b	1,86 $\pm$ 1,06	N.D.	0,61 $\pm$ 0,80	0,86 $\pm$ 1,17b	N.D.	N.D.
	Verdeal Transmontana	2,63 $\pm$ 1,05b	N.D.	2,51 $\pm$ 0,40a	2,73 $\pm$ 0,55a	1,82 $\pm$ 0,29ab	N.D.	1,55 $\pm$ 1,66b	N.D.	2,38 $\pm$ 0,46a	N.D.	N.D.
	Madural	2,28 $\pm$ 0,65b	N.D.	2,41 $\pm$ 0,48a	1,18 $\pm$ 1,32b	1,92 $\pm$ 0,40ab	N.D.	0,52 $\pm$ 1,21b	N.D.	2,26 $\pm$ 0,37a	N.D.	N.D.
	Valor <i>P</i>	<0,001	—	<0,001	<0,001	<0,05	—	<0,001	—	<0,001	—	—
Beira Interior	Cordovil de Castelo Branco	2,67 $\pm$ 0,62a	N.D.	2,07 $\pm$ 0,38a	2,50 $\pm$ 1,04a	2,08 $\pm$ 0,48ab	0,18 $\pm$ 0,50a	1,34 $\pm$ 1,41a	N.D.	1,94 $\pm$ 0,80a	0,38 $\pm$ 1,03a	N.D.
	Bical de Castelo Branco	2,12 $\pm$ 0,59ab	N.D.	2,03 $\pm$ 0,27a	1,18 $\pm$ 1,53a	2,41 $\pm$ 0,29a	N.D.	N.D.	N.D.	2,19 $\pm$ 0,49a	N.D.	N.D.
	Negrinha de Freixo	1,10 $\pm$ 1,24b	1,01 $\pm$ 1,10a	2,25 $\pm$ 0,35a	1,40 $\pm$ 1,50a	2,04 $\pm$ 0,57ab	0,54 $\pm$ 1,00a	N.D.	1,19 $\pm$ 1,29a	1,08 $\pm$ 1,16a	N.D.	N.D.
	Verdeal	2,57 $\pm$ 0,74a	N.D.	2,42 $\pm$ 0,20a	1,92 $\pm$ 1,51a	1,68 $\pm$ 0,17b	N.D.	1,10 $\pm$ 1,70a	N.D.	2,27 $\pm$ 0,43a	0,70 $\pm$ 1,09a	0,53 $\pm$ 0,84a
	Carrasquenha	1,43 $\pm$ 1,65ab	1,05 $\pm$ 1,21a	1,95 $\pm$ 0,42a	1,43 $\pm$ 1,65a	1,90 $\pm$ 0,36ab	N.D.	1,15 $\pm$ 1,34a	1,08 $\pm$ 1,24a	0,83 $\pm$ 0,96a	N.D.	N.D.
	Cobrançosa	3,65 $\pm$ 0,21a	N.D.	2,65 $\pm$ 0,07a	3,20 $\pm$ 0,14a	1,70 $\pm$ 0,28ab	N.D.	2,90 $\pm$ 0,14a	N.D.	2,45 $\pm$ 0,07a	1,95 $\pm$ 0,07a	1,90 $\pm$ 0,14a
	Madural	N.D.	2,65 $\pm$ 0,07a	2,75 $\pm$ 0,78a	N.D.	1,50 $\pm$ 0,28b	1,00 $\pm$ 1,41a	N.D.	2,25 $\pm$ 0,35a	N.D.	N.D.	N.D.
	Valor <i>P</i>	<0,001	0,19	<0,05	0,116	<0,05	0,261	0,476	0,515	<0,01	0,138	0,0713

Os valores de *p* foram calculados a partir da análise ANOVA one-way. Quando se observou um efeito significativo ($p < 0,05$), foi aplicado o teste post-hoc de Tukey.

As médias com letras diferentes indicadas em cada coluna e para cada região diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

N.D: Não detetado.

A avaliação sensorial gustativa apresentada na Tabela 4 confirmou as diferenças evidenciadas pela análise sensorial olfativa (Tabela 3). As sensações frutado verde, doce, amargo, picante e erva fresca foram detetadas com diferenças significativas entre cultivares.

O atributo frutado verde apresentou alta intensidade em diversas cultivares. O maior valor foi observado na Cobrançosa ($4,30 \pm 0,59$), seguida pela Verdeal Transmontana ($3,82 \pm 1,09$) e Madural ($3,63 \pm 0,69$), ambas cultivares provenientes da região de Trás-os-Montes. Na Beira Interior, a Cobrançosa também apresentou intensidade mais elevada ($3,80 \pm 0,28$), embora ligeiramente inferior à de Trás-os-Montes, evidenciando a influência das condições ambientais da região no atributo sensorial do azeite.

De forma semelhante ao detetado pela análise sensorial olfativa, foi identificado um perfil sensorial maduro, de maior intensidade, nas cultivares Negrinha de Freixo, de ambas as regiões, e Carrasquenha e Madural, da Beira Interior.

O atributo doce apresentou, em média, maior intensidade nas cultivares da Beira Interior. As que apresentam maior intensidade foram a Madural ($3,15 \pm 0,49$) e a Negrinha de Freixo ($2,96 \pm 1,04$). Em Trás-os-Montes, a cultivar Negrinha de Freixo ($2,36 \pm 1,36$) apresentou valor estatisticamente superior às restantes. Em relação ao amargo, destacaram-se as cultivares de Trás-os-Montes, com valores elevados para Verdeal Transmontana ($3,20 \pm 0,67$), Madural ($3,18 \pm 0,48$) e Cobrançosa ($2,93 \pm 0,77$). Na Beira Interior, foi a Cobrançosa a que apresentou intensidades mais elevadas ($3,70 \pm 0,00$).

O atributo picante, associado à presença de fenóis totais, apresentou os valores mais elevados nas cultivares Madural ($3,93 \pm 0,44$) e Verdeal Transmontana ($3,86 \pm 0,81$) e Cobrançosa ($3,70 \pm 0,84$) de Trás-os-Montes. O azeite extraído da cultivar Cobrançosa apresentou o mesmo valor de intensidade do mesmo atributo em ambas as regiões. No caso da Madural, apresentou intensidades inferiores na Beira Interior, enquanto, na Negrinha de Freixo, foi detetado um aumento considerável na intensidade do atributo picante. As intensidades de amargor e picante são associadas à quantidade de fenóis totais, que tendem a ser mais presentes em azeites produzidos sob condições climáticas mais amenas, como é o caso de Trás-os-Montes (Rocha et al., 2026). Dados que justificam os resultados obtidos nessa tese, apresentando valores de fenóis, amargor e picante superiores na maioria das cultivares na região de Trás-os-Montes.

Na região de Trás-os-Montes, o atributo da banana foi detetado com maior intensidade apenas na Negrinha de Freixo. Nas cultivares da Beira Interior, foi detetada uma ampla variação da intensidade do atributo de banana, com destaque para Madural ($3,00 \pm 0,57$) e Negrinha de Freixo ($2,25 \pm 1,43$), e com menor valor a Cordovil de Castelo Branco ($0,19 \pm 0,53$), justificando a diferença significativa encontrada pela análise estatística.

Relativamente às sensações de frutos secos, apenas foram detetadas diferenças significativas no cultivares da Beira Interior. Nesta região, a maior intensidade foi registada na Bical de Castelo Branco ($2,78 \pm 0,25$), seguida da Carrasquenha ($2,23 \pm 0,73$).

A sensação de couve destacou-se nas cultivares Verdeal Transmontana ($3,55 \pm 0,66$) e Cobrançosa ($3,20 \pm 0,54$) de Trás-os-Montes. Na Beira Interior, a Cobrançosa também apresentou a intensidade mais elevada ($3,20 \pm 0,71$) e semelhante ao registado em Trás-os-Montes. É possível ainda observar que para a cultivar Madural, foi detetada uma diminuição acentuada da intensidade da sensação de couve. No azeite da Madural na região de Trás-os-Montes apresentou uma intensidade de $2,39 \pm 1,8$, não tendo sido detetado no azeite extraído da mesma cultivar da Beira Interior.

Tabela 4 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão) dos atributos gustativos avaliados na análise sensorial.

Sensações Gustativas	Cultivar	Frutado verde	Frutado maduro	Doce	Amargo	Picante	Maçã	Tomate	Banana	Frutos secos	Couve	Erva fresca	Erva seca	Rama tomateiro	Folha de oliveira
Trás-os-Montes	Cobrançosa	4,30 $\pm$ 0,59a	N.D.	0,67 $\pm$ 0,28b	2,93 $\pm$ 0,77a	3,70 $\pm$ 0,84a	2,95 $\pm$ 0,29a	3,40 $\pm$ 0,77a	N.D.	2,09 $\pm$ 0,40a	3,20 $\pm$ 0,54ab	2,80 $\pm$ 0,39a	N.D.	2,93 $\pm$ 0,85	1,27 $\pm$ 0,95a
	Negrinha de Freixo	0,53 $\pm$ 0,74b	1,12 $\pm$ 1,45	2,36 $\pm$ 1,36a	1,16 $\pm$ 0,78b	1,65 $\pm$ 1,10b	1,66 $\pm$ 0,93b	N.D.	2,26 $\pm$ 1,25	1,66 $\pm$ 0,97a	N.D.	1,11 $\pm$ 1,20b	0,57 $\pm$ 0,95a	N.D.	N.D.
	Verdeal Transmontana	3,82 $\pm$ 1,09a	N.D.	0,88 $\pm$ 0,42b	3,20 $\pm$ 0,67a	3,86 $\pm$ 0,81a	2,68 $\pm$ 0,45a	3,48 $\pm$ 0,52a	N.D.	1,96 $\pm$ 0,27a	3,55 $\pm$ 0,66a	2,86 $\pm$ 0,55a	N.D.	N.D.	0,94 $\pm$ 1,48a
	Madural	3,63 $\pm$ 0,69a	N.D.	0,63 $\pm$ 0,11b	3,18 $\pm$ 0,48a	3,93 $\pm$ 0,44a	2,63 $\pm$ 0,97a	2,70 $\pm$ 1,09a	N.D.	1,88 $\pm$ 0,63a	2,39 $\pm$ 1,80b	2,38 $\pm$ 1,20a	0,39 $\pm$ 0,91a	N.D.	0,63 $\pm$ 1,16a
	Valor <i>P</i>	<0,001	—	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,051	—	0,419	0,0534	<0,001	0,66	—	0,452
Beira Interior	Cordovil de Castelo Branco	2,36 $\pm$ 0,42ab	N.D.	2,89 $\pm$ 0,31a	1,98 $\pm$ 0,54bc	2,96 $\pm$ 0,96a	2,39 $\pm$ 0,51a	2,01 $\pm$ 1,26a	0,19 $\pm$ 0,53b	2,10 $\pm$ 0,78ab	0,36 $\pm$ 0,99b	1,63 $\pm$ 1,03a	0,24 $\pm$ 0,65b	0,33 $\pm$ 0,91a	N.D.
	Bical de Castelo Branco	1,92 $\pm$ 0,27bc	N.D.	2,91 $\pm$ 0,14a	1,03 $\pm$ 0,16d	2,10 $\pm$ 0,28ab	2,16 $\pm$ 0,26a	N.D.	0,49 $\pm$ 1,04b	2,78 $\pm$ 0,25a	N.D.	1,84 $\pm$ 0,37a	N.D.	N.D.	N.D.
	Negrinha de Freixo	1,23 $\pm$ 1,37c	1,53 $\pm$ 1,64a	2,96 $\pm$ 1,04a	1,41 $\pm$ 0,70cd	2,48 $\pm$ 0,96ab	2,29 $\pm$ 0,49a	1,38 $\pm$ 1,48a	2,25 $\pm$ 1,43a	1,90 $\pm$ 0,37b	0,74 $\pm$ 1,37ab	1,01 $\pm$ 1,12a	0,84 $\pm$ 0,92ab	0,41 $\pm$ 0,77a	N.D.
	Verdeal	2,73 $\pm$ 0,62ab	N.D.	1,95 $\pm$ 0,46ab	2,22 $\pm$ 0,30ab	2,67 $\pm$ 0,44ab	2,27 $\pm$ 0,18a	1,88 $\pm$ 1,47a	0,73 $\pm$ 1,14ab	1,73 $\pm$ 0,23b	1,05 $\pm$ 1,63ab	2,25 $\pm$ 0,34a	N.D.	0,63 $\pm$ 0,98a	0,52 $\pm$ 0,82a
	Carrasquenha	1,33 $\pm$ 1,53bc	1,35 $\pm$ 1,56a	2,05 $\pm$ 0,53ab	2,05 $\pm$ 0,44abc	3,10 $\pm$ 0,42a	2,03 $\pm$ 0,29a	1,23 $\pm$ 1,42a	1,40 $\pm$ 1,62ab	2,23 $\pm$ 0,73ab	1,15 $\pm$ 1,33ab	0,95 $\pm$ 1,11a	1,18 $\pm$ 1,36ab	N.D.	N.D.
	Cobrançosa	3,80 $\pm$ 0,28a	N.D.	1,45 $\pm$ 0,49b	3,10 $\pm$ 0,14a	3,70 $\pm$ 0,00a	2,55 $\pm$ 0,21a	3,15 $\pm$ 0,49a	N.D.	1,75 $\pm$ 0,35b	3,20 $\pm$ 0,71a	2,60 $\pm$ 0,28a	N.D.	1,85 $\pm$ 0,07a	1,85 $\pm$ 0,07a
	Madural	N.D.	3,05 $\pm$ 0,49a	3,15 $\pm$ 0,49a	0,60 $\pm$ 0,00d	1,05 $\pm$ 0,07b	2,30 $\pm$ 0,28a	N.D.	3,00 $\pm$ 0,57a	1,65 $\pm$ 0,07b	N.D.	N.D.	2,15 $\pm$ 0,07a	N.D.	N.D.
	Valor <i>P</i>	<0,001	0,429	<0,001	<0,001	<0,01	0,61	0,428	<0,001	<0,01	0,0581	<0,05	<0,05	0,155	0,071

Os valores de *p* foram calculados a partir da análise ANOVA *one-way*. Quando se observou um efeito significativo ($p < 0,05$) foi aplicado o teste post-hoc de Tukey.

As médias com letras diferentes, indicadas em cada coluna e região, diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

N.D: Não detetado.

A Análise Discriminante Linear (LDA) foi aplicada aos atributos sensoriais olfativos e gustativos com o objetivo de avaliar a capacidade dos referidos parâmetros em diferenciar os azeites provenientes de diferentes cultivares e regiões. Foram considerados atributos olfativos (frutado verde, frutado maduro, maçã, tomate, frutos secos, banana, couve, erva seca, erva fresca, rama de tomateiro e folha de oliveira) e gustativos (doce, amargo, picante, maçã, tomate, banana, erva seca e erva fresca) (Figura 9).

A LDA aplicada às amostras da região de Trás-os-Montes apresentou uma clara separação entre as cultivares analisadas (Figura 9A). As duas primeiras funções discriminantes (DF) explicaram cerca de 98,6% da variabilidade total, sendo a DF1 responsável por 89% da variabilidade e DF2 por 9,6%.

Observa-se que a maior separação entre as amostras ocorre na primeira função discriminante (DF1), indicando que esta função concentra os principais atributos responsáveis pela diferenciação sensorial entre as cultivares (Figura 9A). A cultivar Negrinha de Freixo apresenta-se isolada das restantes cultivares, sugerindo um perfil sensorial distinto, bem como a Cobrançosa, que se situa à esquerda superior, separada das demais cultivares. Esse comportamento corrobora os resultados apresentados nas tabelas 3 e 4. Relativamente à Negrinha de Freixo, vários atributos sensoriais apresentaram diferenças significativas em relação às outras cultivares, e a Cobrançosa se destaca por maior intensidade das sensações olfativas e gustativas de rama de tomateiro, de folha de oliveira e de verde.

A qualidade do modelo foi avaliada através de diferentes procedimentos de validação. A precisão original do modelo foi de 100%. A validação cruzada *Leave-One-Out* (LOO-CV) apresentou eficácia de 95,65%, enquanto a validação *Repeated K-Fold* resultou em 90,45% de precisão na classificação das amostras. Esses resultados demonstram que o modelo apresenta elevada capacidade de discriminação.

Para as amostras da região da Beira Interior (Figura 9B), a LDA demonstrou igualmente elevada capacidade de discriminação entre as cultivares avaliadas (Bical de Castelo Branco, Cordovil de Castelo Branco, Negrinha de Freixo e Verdeal). As duas funções discriminantes explicaram aproximadamente 98,8% da variabilidade total, sendo que DF1 foi responsável por 91,8% e DF2 por 7%.

A distribuição das amostras revela uma diferença clara no perfil sensorial de cada cultivar. Analisando a Figura 9B, é possível observar que as cultivares Cordovil de Castelo Branco e Verdeal apresentam um perfil sensorial que permite a sua separação das restantes cultivares analisadas da região da Beira Interior. Relativamente à Bical de

Castelo Branco e à Negrinha de Freixo, apesar de apresentarem uma ligeira sobreposição, foram detetadas diferenças a nível sensorial que possibilitaram a sua separação ao longo do DF2. Nomeadamente, na intensidade das sensações olfativas de verde e erva-fresca, e na presença da sensação olfativa de banana e erva seca, apenas na Negrinha de Freixo. Na análise das sensações gustativas, foram detetadas diferenças significativas nos atributos de banana e de frutos secos, e a presença de sensações de tomate na Negrinha de Freixo, o que não foi observado na Bical de Castelo Branco.

A performance do modelo estatístico aplicado às cultivares da região da Beira Interior mostrou-se eficaz, atingindo 100% de eficácia na validação LOO-CV, enquanto a validação Repeated K-Fold apresentou uma eficácia de 98,78%. Esses resultados indicam que os descritores sensoriais utilizados na construção da LDA apresentam elevada capacidade discriminante entre as cultivares da Beira Interior, permitindo a classificação das amostras com elevada confiabilidade.

A LDA também foi realizada com base em amostras das regiões de Trás-os-Montes e Beira Interior (Figura 9C), com o objetivo de avaliar se os perfis sensoriais permitem determinar a origem geográfica dos azeites. Os resultados mostraram uma clara separação entre as regiões de Trás-os-Montes e de Beira Interior, demonstrando que o perfil sensorial dos azeites apresenta diferenças que conferem características próprias de cada região. Observa-se a formação de duas áreas bem definidas, o que indica que os atributos sensoriais analisados refletem características regionais específicas, reforçando a influência da região sobre o perfil sensorial dos azeites.

Os valores de desempenho do modelo reforçam essa capacidade discriminante. A precisão original foi de 100%, enquanto as validações cruzadas apresentaram 97,73% para LOO-CV e 96,8% para *Repeated K-Fold*. Esses resultados sugerem que os atributos sensoriais avaliados podem ser utilizados como ferramentas para discriminação geográfica de azeites.

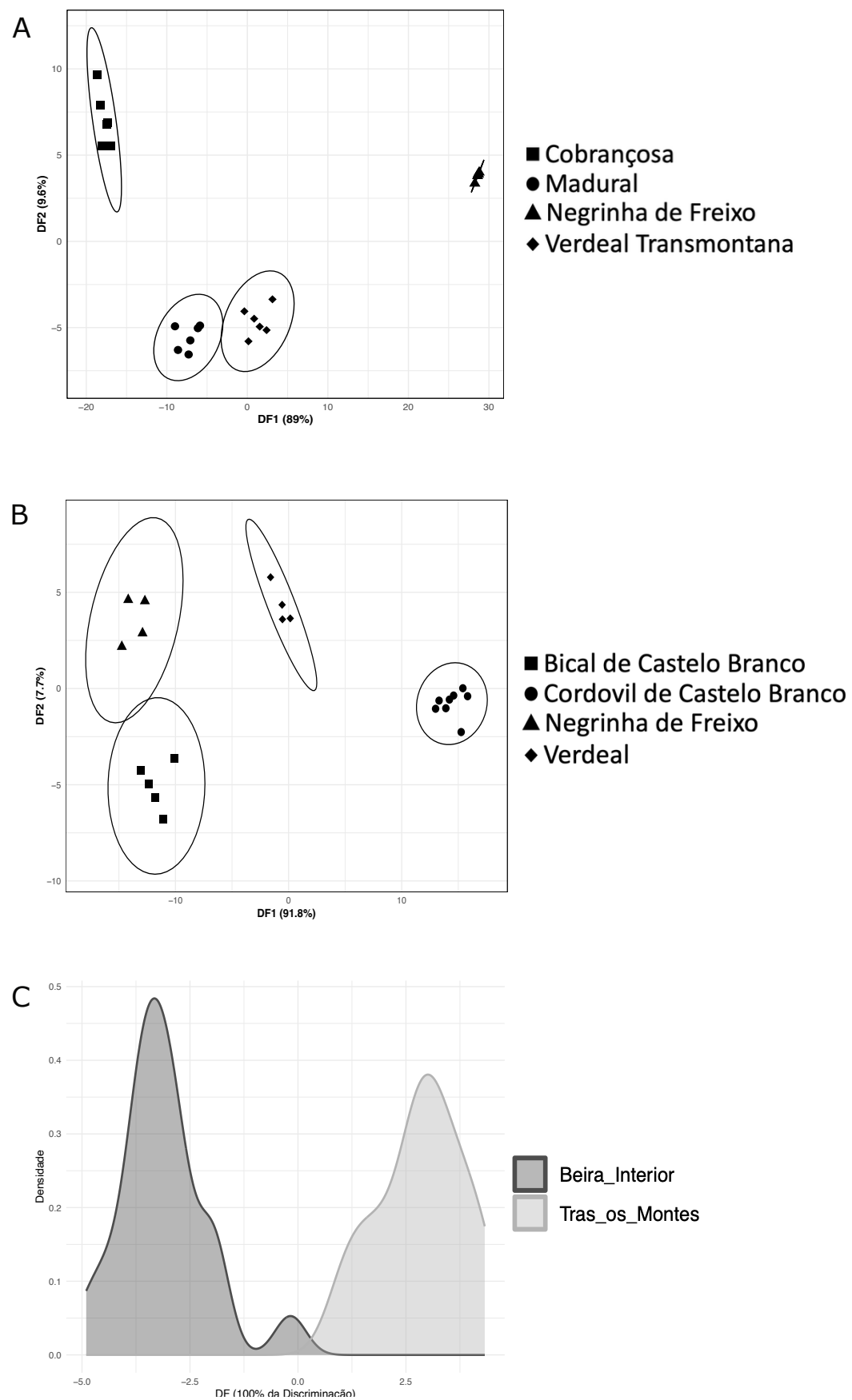


Figura 9 - Análise discriminante linear com base nos atributos sensoriais avaliados (olfativos e gustativos). Região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B), e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).

4.3 Compostos Voláteis

A intensidade e a complexidade dos atributos sensoriais detetados no azeite dependem, em larga medida, do perfil de compostos voláteis que se desenvolve durante o processo de extração. Para além das condições de processamento das azeitonas, fatores como a cultivar e as condições ambientais a que as oliveiras estão expostas determinam de forma significativa o perfil volátil e sensorial dos azeites (El Riachy et al., 2023). Para complementar os dados obtidos com o *e-nose*, o perfil volátil das amostras de azeite em estudo foi determinado qualitativamente e quantitativamente por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS).

Os compostos voláteis detetados nos azeites de diferentes cultivares das regiões de Trás-os-Montes e Beira Interior encontram-se descritos na Tabela 5. Os compostos voláteis estão organizados em famílias químicas, nomeadamente cetonas, álcoois, ésteres, aldeídos, hidrocarbonetos e terpenos.

Nas cultivares da Beira Interior, observou-se que os compostos acetato de (Z)-3-hexen-1-ol, acetato de hexilo, 1-hexanol e (E)-2-hexenal apresentaram diferenças significativas entre as cultivares. A cultivar Negrinha de Freixo destacou-se por apresentar maior acumulação dos compostos referidos quando comparada com as restantes cultivares. Relativamente às amostras de Trás-os-Montes, foi detetado um maior número de compostos que apresentaram diferenças significativas entre cultivares, sendo eles: 1-penten-3-ona, 1-Hexanol, acetato de (Z)-3-hexen-1-ol, acetato de hexilo, Decanal, 3-Etil-1,5-octadieno nos três isómeros e o 4,8-dimetil-1,7-nonadieno.

Observou-se, ainda, que os aldeídos constituíram a família de compostos mais diversificada na maioria das cultivares, em ambas as regiões. Entre os compostos identificados desta família, o (E)-2-hexenal destacou-se como o mais abundante. As cultivares Madural e Verdeal apresentaram as maiores concentrações deste aldeído, sendo que os azeites provenientes da Beira Interior evidenciaram uma maior acumulação. O elevado teor de (E)-2-hexenal é consistente com diversos estudos realizados em azeites virgens extra (Fernandes-Silva et al., 2013; Unsal et al., 2025). Este aldeído é um dos principais produtos da oxidação enzimática de ácidos gordos polinsaturados através da via da lipoxigenase (LOX), estando associado a atributos sensoriais positivos, como verde, folha de oliveira, erva fresca e tomate (Unsal et al., 2025). Dessa forma, a elevada concentração desse composto sugere a presença de um perfil aromático característico de azeites com notas verdes. No caso da Madural da Beira Interior, ainda que tivesse sido

identificada a maior concentração do composto (E)-2-hexenal, os azeites obtidos apresentaram um perfil sensorial maduro. Contudo a Verdeal Transmontana teve uma maior concentração de (E)-2-hexenal na região de Trás-os-Montes, que corroboram com as suas notas olfativas verdes de intensidade $2,63 \pm 1,05$.

Seguido do (E)-2-hexenal, os compostos com maior acumulação foram os hidrocarbonetos 3-Etil-1,5-octadieno e 4,8-dimetil-1,7-nonadieno, bem como a cetona 1-penten-3-ona. Relativamente aos hidrocarbonetos referidos, estes foram identificados em todas as cultivares de ambas as regiões (Tabela 5). Os valores mais elevados do hidrocarboneto 3-Etil-1,5-octadieno foram detetados para o azeite extraído da cultivar Verdeal de ambas as regiões, enquanto para o 4,8-dimetil-1,7-nonadieno foi detetado uma maior concentração para as cultivares Verdeal, Verdeal Transmontana e Madural da região da Beira Interior e Trás-os-Montes.

Relativamente às cetonas, observaram-se concentrações superiores de 1-penten-3-ona em todas as cultivares da região de Trás-os-Montes. Por outro lado, o composto 3-pentanona foi identificado em todas as cultivares da Beira Interior, não tendo sido detetado em nenhuma das cultivares de Trás-os-Montes. Este resultado constitui uma forte indicação da influência da região sobre o perfil volátil dos azeites. Adicionalmente, a cetona 3-pentanona encontra-se associada a sensações doces (Caporaso, 2016; Díaz-Montaña et al., 2023), corroborando os resultados da análise sensorial, na qual os azeites da Beira Interior apresentaram maiores intensidades para o atributo doce.

Tabela 5 – Concentração (média $\pm$ desvio padrão, μg de equivalentes de padrão interno/g de azeite) dos compostos voláteis identificados.

		Beira Interior									Trás-os-Montes				
		TR(min)	Cordovil de Castelo Branco	Bical de Castelo Branco	Negrinha de Freixo	Verdeal	Carrasquenha	Cobrançosa	Madural	Valor P	Verdeal Transmontana	Negrinha de Freixo	Cobrançosa	Madural	Valor P
Cetonas	1-penten-3-ona	4,54	1,33 ± 0,42a	1,16 ± 0,29a	0,34 ± 0,33a	0,91 ± 0,88a	0,94 ± 1,05a	0,58 ± 0,00a	0,27 ± 0,00a	0,158	2,07 ± 0,53a	0,92 ± 0,37b	2,46 ± 0,40a	1,26 ± 0,10b	<0,001
	3-Pentanona	4,7	0,27 ± 0,61a	0,02 ± 0,05a	0,45 ± 0,35a	0,23 ± 0,26a	0,17 ± 0,24a	0,77 ± 0,00a	0,17 ± 0,00a	0,702	N.D	N.D	N.D	N.D	---
	1,5-Heptadieno-4-ona, 3,3,6-trimetil-	21,6	0,07 ± 0,05a	0,06 ± 0,02a	0,10 ± 0,08a	0,03 ± 0,02a	0,03 ± 0,01a	0,03 ± 0,00a	N.D	0,332	0,10 ± 0,03a	0,10 ± 0,02a	0,11 ± 0,03a	0,13 ± 0,07a	0,462
Álcoois	1-Butanol, 3-metil-	5,70	0,01 ± 0,02a	N.D	N.D	N.D	0,01 ± 0,01a	N.D	N.D	0,734	0,01 ± 0,02a	0,03 ± 0,03a	0,02 ± 0,03a	0,05 ± 0,05a	0,201
	(Z)-2-Penten-1-ol	6,8	0,39 ± 0,16a	0,38 ± 0,09a	0,30 ± 0,24a	0,32 ± 0,13a	0,26 ± 0,10a	0,34 ± 0,00a	0,19 ± 0,00a	0,866	0,43 ± 0,34a	0,61 ± 0,68a	0,43 ± 0,07a	0,64 ± 0,66a	0,805
	(Z)-3-Hexen-1-ol	10,31	1,03 ± 2,55a	0,84 ± 1,88a	0,39 ± 0,78a	N.D	N.D	1,97 ± 0,00a	N.D	0,926	N.D	0,53 ± 1,19	N.D	N.D	---
	(E)-2-Hexen-1-ol	11	0,35 ± 0,87a	N.D	N.D	0,19 ± 0,32a	N.D	N.D	1,83 ± 0,00a	0,191	0,05 ± 0,11a	N.D	N.D	0,33 ± 0,56a	0,194
	1-Hexanol	11,1	0,11 ± 0,17ab	0,04 ± 0,05b	0,66 ± 0,56a	0,18 ± 0,20ab	0,11 ± 0,01ab	0,19 ± 0,00ab	N.D	0,0706	0,15 ± 0,15ab	0,41 ± 0,43a	0,08 ± 0,07ab	0,03 ± 0,08b	<0,05
Ésteres	Acetato de (Z)-3-hexen-1-ol	19,70	0,00 ± 0,01a	0,06 ± 0,07b	1,57 ± 0,86a	0,02 ± 0,01b	0,17 ± 0,23b	0,39 ± 0,00ab	0,01 ± 0,00b	<0,001	0,01 ± 0,00b	0,13 ± 0,13b	0,01 ± 0,01b	0,32 ± 0,13a	<0,001
	Acetato de hexilo	20,23	N.D	0,02 ± 0,02b	0,28 ± 0,22a	0,01 ± 0,02b	0,07 ± 0,10ab	0,04 ± 0,00ab	0,01 ± 0,00b	<0,01	0,00 ± 0,01b	0,01 ± 0,01b	N.D	0,05 ± 0,02a	<0,001
Aldeídos	(E)-2-Pental	5,9	0,01 ± 0,01a	0,02 ± 0,01a	0,01 ± 0,01a	0,02 ± 0,01a	0,02 ± 0,01a	0,01 ± 0,00a	N.D	0,389	0,01 ± 0,01a	N.D	0,02 ± 0,00a	0,02 ± 0,03a	0,231
	(E)-2-Hexenal	10,2	2,06 ± 1,22a	4,29 ± 1,54a	5,47 ± 2,55a	6,71 ± 5,43a	4,65 ± 1,77a	2,21 ± 0,00a	10,46 ± 0,00a	<0,05	4,25 ± 3,00a	2,50 ± 0,95a	2,27 ± 0,88a	3,58 ± 1,19a	0,222
	(E,E)-2,4-Hexadienal	13,40	0,11 ± 0,05a	0,13 ± 0,04a	0,20 ± 0,15a	0,08 ± 0,01a	0,07 ± 0,00a	0,09 ± 0,00a	0,10 ± 0,00a	0,358	0,16 ± 0,04a	0,16 ± 0,04a	0,17 ± 0,03a	0,17 ± 0,05a	0,97
	(E)-4-Oxohex-2-enal	16,35	0,12 ± 0,09a	0,14 ± 0,05a	0,20 ± 0,20a	0,07 ± 0,06a	0,06 ± 0,01a	0,07 ± 0,00a	0,11 ± 0,00a	0,687	0,29 ± 0,10a	0,26 ± 0,13a	0,25 ± 0,06a	0,32 ± 0,09a	0,59
	(E,E)-2,4-Heptadienal	18,90	N.D	N.D	0,03 ± 0,06a	0,66 ± 1,15a	N.D	N.D	N.D	0,345	N.D	0,05 ± 0,12	N.D	N.D	---
	(E)-2-Octenal	23,30	0,07 ± 0,05a	0,09 ± 0,03a	0,13 ± 0,12a	0,02 ± 0,03a	0,04 ± 0,01a	0,03 ± 0,00a	0,06 ± 0,00a	0,352	0,15 ± 0,04a	0,15 ± 0,04a	0,16 ± 0,04a	0,18 ± 0,09a	0,737
	Nonanal	26,46	0,03 ± 0,01a	0,02 ± 0,01a	0,04 ± 0,02a	0,05 ± 0,05a	0,03 ± 0,00a	0,02 ± 0,00a	0,04 ± 0,00a	0,425	0,01 ± 0,01a	0,02 ± 0,02a	N.D	0,01 ± 0,01a	0,238
	Decanal	33,80	0,00 ± 0,01a	0,01 ± 0,02a	0,03 ± 0,04a	0,07 ± 0,06a	0,07 ± 0,08a	0,11 ± 0,00a	N.D	<0,05	0,04 ± 0,03a	0,01 ± 0,00b	N.D	0,00 ± 0,01b	<0,001
Hidrocarbonetos	3-Etil-1,5-octadieno	12,6	0,06 ± 0,06a	0,14 ± 0,07a	0,11 ± 0,06a	0,19 ± 0,10a	0,17 ± 0,04a	0,16 ± 0,00a	0,09 ± 0,00a	0,161	0,24 ± 0,05a	0,06 ± 0,04b	0,20 ± 0,05a	0,21 ± 0,04a	<0,001
	3-Etil-1,5-octadieno	15,1	0,53 ± 0,22a	0,71 ± 0,24a	0,44 ± 0,26a	0,89 ± 0,12a	0,75 ± 0,09a	0,84 ± 0,00a	0,73 ± 0,00a	0,119	1,05 ± 0,31a	0,23 ± 0,08b	0,73 ± 0,19a	0,88 ± 0,20a	<0,001
	3-Etil-1,5-octadieno	15,56	0,63 ± 0,23a	0,78 ± 0,27a	0,54 ± 0,37a	0,93 ± 0,17a	0,85 ± 0,16a	0,80 ± 0,00a	0,82 ± 0,00a	0,467	0,99 ± 0,35a	0,28 ± 0,08b	0,91 ± 0,20a	0,96 ± 0,20a	<0,001
	4,8-dimetil-1,7-nonadieno	19,10	1,11 ± 0,44a	1,51 ± 0,53a	1,04 ± 0,65a	1,27 ± 1,12a	1,71 ± 0,19a	1,67 ± 0,00a	1,88 ± 0,00a	0,621	1,72 ± 1,03a	0,31 ± 0,19b	1,22 ± 0,31ab	1,64 ± 0,41a	<0,01
Terpenos	α-Pineno	12,80	0,11 ± 0,08a	0,05 ± 0,07a	0,07 ± 0,06a	0,06 ± 0,11a	N.D	N.D	0,15 ± 0,00a	0,566	N.D	0,02 ± 0,05	N.D	N.D	---
	β-Ocimeno	22,56	0,11 ± 0,10a	0,04 ± 0,04a	0,02 ± 0,01a	0,02 ± 0,03a	0,25 ± 0,26a	0,01 ± 0,00a	0,02 ± 0,00a	0,102	0,02 ± 0,03a	0,03 ± 0,02a	0,02 ± 0,02a	0,01 ± 0,01a	0,709
	Geranil nitrilo	27,40	0,09 ± 0,05a	0,24 ± 0,23a	0,04 ± 0,06a	0,03 ± 0,01a	0,16 ± 0,21a	0,01 ± 0,00a	0,20 ± 0,00a	0,231	0,02 ± 0,04a	N.D	0,05 ± 0,07a	N.D	0,129

Os valores de p foram calculados a partir da análise de ANOVA *one-way*. Quando se observou um efeito significativo ($p < 0,05$), foi aplicado o teste post-hoc de Tukey.

As médias com letras diferentes, indicadas em cada coluna e região, diferem significativamente entre si ($p < 0,05$).

N.D: Não detetado. TR(min): Tempo de retenção dos compostos expresso em minutos.

De forma complementar, foi também avaliada a capacidade do perfil de compostos voláteis em discriminar as amostras de azeite entre as cultivares e entre regiões, através de uma Análise Discriminante Linear (LDA) (Figura 10). Como se pode observar na Figura 10A, relativa aos dados do perfil volátil das cultivares da região de Trás-os-Montes, a primeira função discriminante (DF1) contabilizou 49,2% da variabilidade total, enquanto a DF2 explicou 27,7%, perfazendo um total acumulado de 76,9%. As cultivares Madural e Cobreiros se sobrepuseram, o que sugere que apresentam um perfil de compostos voláteis idêntico (Figura 10A). Observou-se ainda uma ligeira sobreposição entre as restantes cultivares na região central do gráfico, indicando que todas partilham algumas características comuns ao nível do perfil volátil. Relativamente à validação do modelo estatístico, este apresentou uma eficácia de classificação de 100%, indicando que todas as amostras foram corretamente classificadas no modelo original. A validação cruzada LOO-CV foi de 100%, enquanto a validação repetida K-Fold apresentou uma eficácia de 96,09%. Na Figura 10B, é possível observar a LDA desenvolvida para as cultivares da Beira Interior (Bical de Castelo Branco, Cordovil de Castelo Branco, Negrinha de Freixo e Verdeal). Neste caso, as duas primeiras funções discriminantes explicaram 49,7% e 42,6% da variabilidade total, respetivamente, contabilizando 92,3% da variância acumulada. À semelhança do observado para as amostras de azeite de Trás-os-Montes, é possível observar uma sobreposição entre as cultivares Cordovil de Castelo Branco, Negrinha de Freixo e Bical de Castelo Branco, o que sugere semelhanças no perfil volátil das referidas amostras. A cultivar Verdeal apresentou sobreposição total com o grupo formado pela Bical de Castelo Branco, o que sugere que ambas as cultivares apresentam um perfil volátil que dificulta a discriminação dos azeites obtidos de cada cultivar. A precisão de classificação do modelo original foi de 95,24%. No entanto, quando submetido à validação cruzada, o modelo apresentou uma redução da capacidade discriminativa, com 76,19% de eficácia na validação LOO-CV e 71,26% na validação Repeated K-Fold. A Figura 10C apresenta a LDA considerando as amostras das duas regiões. Os resultados evidenciaram uma separação clara entre as duas regiões, evidenciando a forte influência da região no perfil volátil dos azeites. O modelo apresentou elevada capacidade discriminativa, com precisão de classificação 100% e eficácia de 100% na validação LOO-CV. A validação cruzada repetida *K-Fold* apresentou uma precisão de 93,97%, confirmando a robustez do modelo na discriminação regional dos azeites com base no perfil volátil.

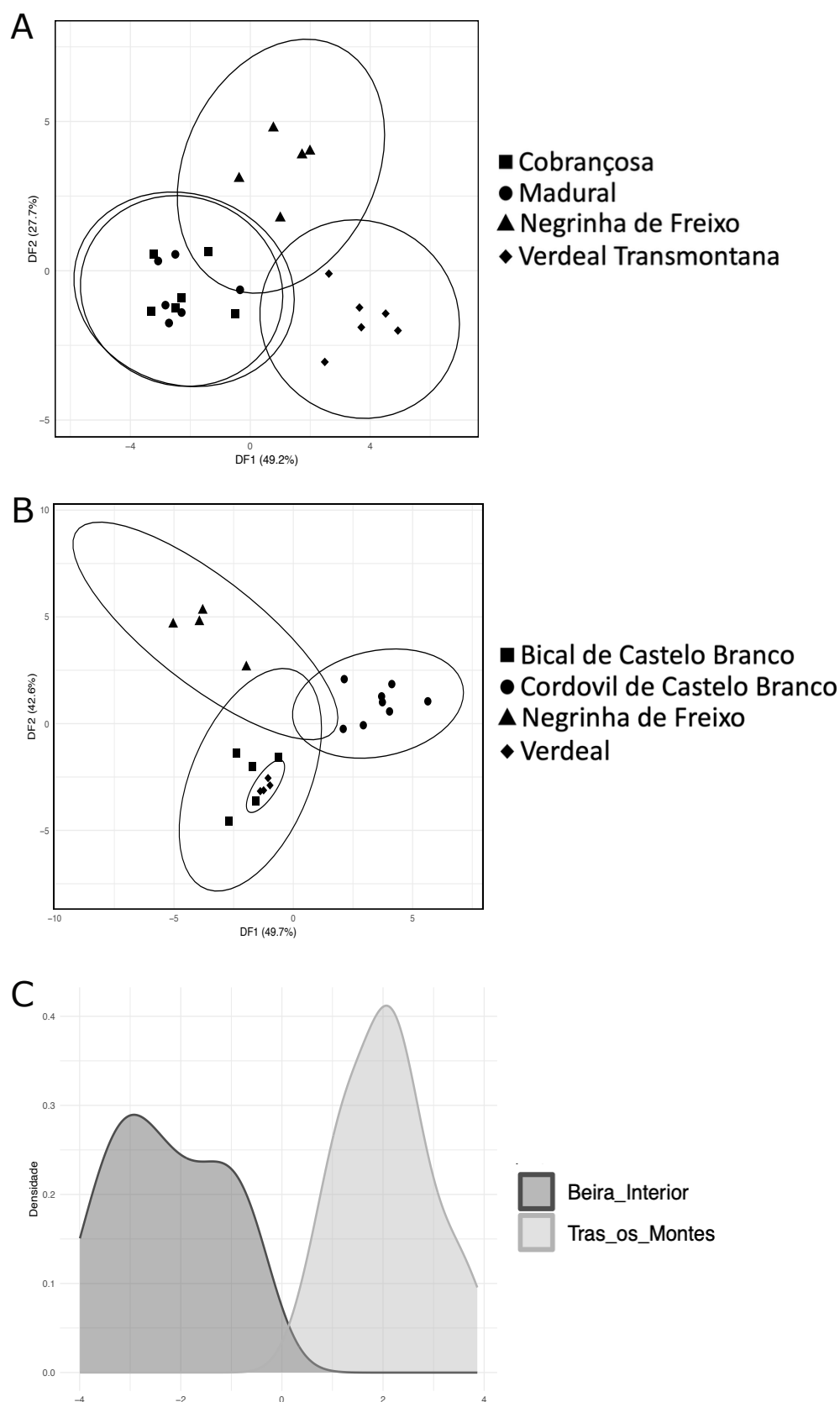


Figura 10 – Análise discriminante linear com base nos resultados obtidos do perfil de compostos voláteis por cromatografia gasosa. Região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B) e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).

4.4 Efeito bloqueador de radicais livres de DPPH

A capacidade antioxidante dos azeites foi analisada pelo método de radicais livres de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil), que se baseia na capacidade de compostos antioxidantes presentes no azeite de sequestrar ou neutralizar o radical livre DPPH. Os resultados são apresentados como percentagem de inibição do radical livre DPPH (Figura 11).

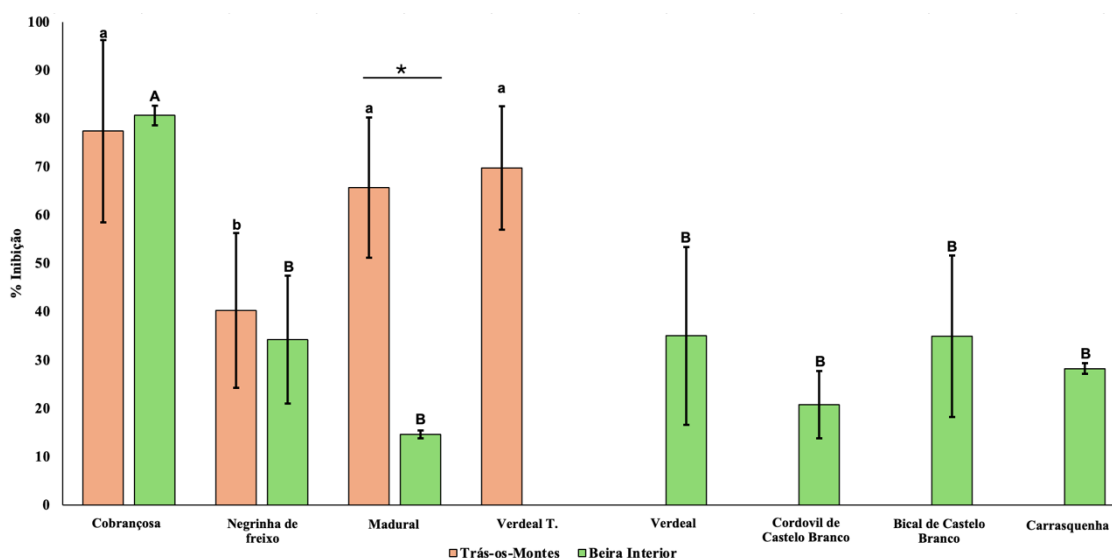


Figura 11 - Resultados da percentagem (%) de inibição do radical livre DPPH. Letras minúsculas, maiúsculas e asterisco nas colunas indicam diferenças estatisticamente significativas (valor de $p < 0,05$) entre as cultivares em Trás-os-Montes, as cultivares na Beira e as mesmas cultivares em regiões diferentes, respectivamente (ANOVA, seguida do teste de Tukey).

Na figura 11 observaram-se diferenças significativas na atividade antioxidante, tanto entre as diferentes cultivares da mesma região como entre a mesma cultivar nas duas regiões em estudo. A cultivar Cobrançosa da região da Beira Interior destacou-se por apresentar as maiores percentagens de inibição do radical DPPH, estatisticamente superiores às restantes cultivares da mesma região (Figura 11). Na região de Trás-os-Montes, as cultivares Cobrançosa, Verdeal Transmontana e Madural (77,41%; 69,79% e 65,72% respectivamente) apresentaram percentagens de inibição mais elevadas do que a Negrinha de Freixo (40,35%). Para as cultivares amostradas tanto na região de Trás-os-Montes como na Beira Interior (Cobrançosa, Negrinha de Freixo, Verdeal e Madural), verificou-se que apenas nas cultivares Verdeal e Madural a região de origem exerceu um efeito significativo na atividade antioxidante. A Madural apresentou uma atividade antioxidante significativamente mais elevada em Trás-os-Montes com 65,72%, quando comparada com a mesma cultivar da Beira Interior, com 14,61%.

4.5 Teor em Fenóis Totais

De forma complementar, a atividade antioxidante foi também analisada com base na determinação do teor de fenóis totais presentes na amostra de azeite, expresso em mg de ácido gálico por kg de azeite. Na figura 12 estão apresentados os valores de fenóis totais para cada cultivar e região em estudo.

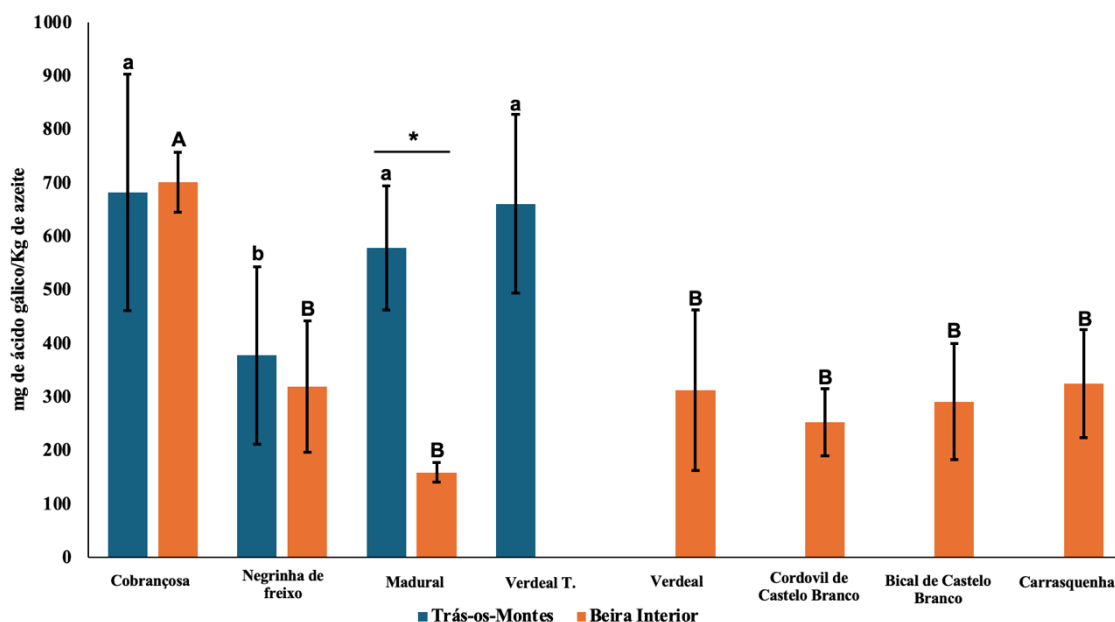


Figura 12 - Resultados do teor em fenóis totais (mg de ácido gálico/kg de azeite). Letras minúsculas, maiúsculas e asterisco nas colunas indicam diferenças estatisticamente significativas (valor de $p < 0,05$) entre as cultivares em Trás-os-Montes, as cultivares na Beira Interior e as mesmas cultivares em regiões diferentes, respectivamente (ANOVA, seguida do teste de Tukey).

Tal como observado nos resultados da inibição do radical DPPH (Figura 12), a cultivar Cobrançosa destacou-se por apresentar os teores mais elevados de fenóis totais na Beira Interior, com o valor de 701,23 mg ác. Gal/kg de azeite. De forma semelhante ao observado anteriormente (Figura 12), na região de Trás-os-Montes, as cultivares Cobrançosa, Verdeal Transmontana e Madural apresentaram teores mais elevados de fenóis totais comparativamente à cultivar Negrinha de Freixo, evidenciando maior atividade antioxidante.

A literatura científica descreve a Cobrançosa como uma cultivar que produz azeites com elevado teor de fenóis totais e, consequentemente, alta estabilidade oxidativa (Albuquerque et al., 2019; Malheiro et al., 2011). De forma semelhante, Peres et al., (2015) demonstrou também que os azeites da cultivar Cobrançosa apresentam níveis mais elevados de fenóis totais, quando comparado com outras cultivares como a Galega Vulgar.

Tal como observado para os valores da percentagem de inibição do radical do DPPH (Figura 11), relativamente a cultivar Madural, observou-se uma variabilidade regional acentuada no teor de fenóis totais, com diferença estatisticamente significativa entre Trás-os-Montes e Beira Interior. As amostras de azeite extraído de oliveiras das cultivares Cobrançosa, Verdeal Transmontana e Madural, cultivadas na região de Trás-os-Montes, apresentaram teores de fenóis totais mais elevados, com 681,73 mg ác. Gal/kg azeite, 660,74 mg ác. Gal/kg azeite e 578,75 mg ác. Gal/kg azeite respectivamente. No entanto, para a cultivar Madural, cultivada na região de Beira Interior, o teor de fenóis totais reduziu significativamente para 158,79 mg ác. Gal/kg azeite. Estes resultados sugerem que as diferenças nas condições edafoclimáticas em ambas as regiões têm um efeito modulador da atividade antioxidante na Madural, o que não se verifica com as outras cultivares (Cobrançosa e Negrinha de Freixo).

A cultivar Negrinha de Freixo apresenta teores moderados de fenóis totais em ambas as regiões, 377,28 mg ác. Gal/kg de azeite em Trás-os-Montes e 319,58 mg ác. Gal/kg de azeite na Beira Interior. As cultivares Cordovil de Castelo Branco de Castelo Branco, Bical de Castelo Branco e Carrasquenha, para as quais foram apresentados apenas dados de oliveiras cultivadas na região da Beira Interior, apresentaram teores de fenóis totais entre 250 e 325 mg ác. Gal/kg de azeite.

Um estudo de Rocha et al., (2026) enfatiza que os fatores ambientais influenciam significativamente a composição química, a estabilidade oxidativa e o potencial antioxidante dos azeites, reforçando o papel determinante das condições edafoclimáticas da região de cultivo na qualidade do produto final. O presente estudo, que incluiu azeites de Trás-os-Montes e de Beira Interior, mostrou que cada região induziu alterações na atividade antioxidante nas amostras de azeite extraídas, em particular nas cultivares Verdeal e Madural. Albuquerque et al., (2019) também sugere que os azeites de Trás-os-Montes, onde são cultivadas as cultivares Cobrançosa, Madural e Verdeal Transmontana, frequentemente exibem teores mais elevados de fenóis totais.

Regiões de maior altitude, como Trás-os-Montes, frequentemente associam-se a condições de stress ambiental moderado, como maiores amplitudes térmicas e, por vezes, menor precipitação. Estas condições de cultivo podem induzir a oliveira a produzir mais fenóis como mecanismo de defesa contra o stress oxidativo (Dawson, 2017). Estudos conduzidos por Spika et al., (2021) detectaram maior acumulação de fenóis totais em cultivares mantidos em altitudes mais elevadas e em temperaturas médias mais baixas. No entanto, estas observações contrastam com outros trabalhos que detetaram uma

relação inversa, sugerindo uma complexa interação entre vários fatores edafoclimáticos, como a irradiação solar e a disponibilidade hídrica (Arsian et al., 2013; Turra et al., 2007). Adicionalmente, diferentes cultivares podem apresentar capacidades de adaptação distintas às condições a que estão expostas, como observado na Madural e na Verdeal, com diferenças na atividade antioxidante nas duas regiões, enquanto na Cobrançosa e na Negrinha de Freixo, essas diferenças não foram detetadas.

4.6 Estabilidade Oxidativa

A estabilidade oxidativa dos azeites é comumente determinada pelo método Rancimat. Este método expõe a amostra de azeite a 120 °C e a um fluxo constante de ar (20 L/h), simulando condições de oxidação acelerada. Os resultados são expressos em tempo de indução (horas), que corresponde ao período a partir do qual a oxidação se inicia de forma exponencial (Figura 13). Quanto maior o tempo de indução, maior a estabilidade oxidativa do azeite.

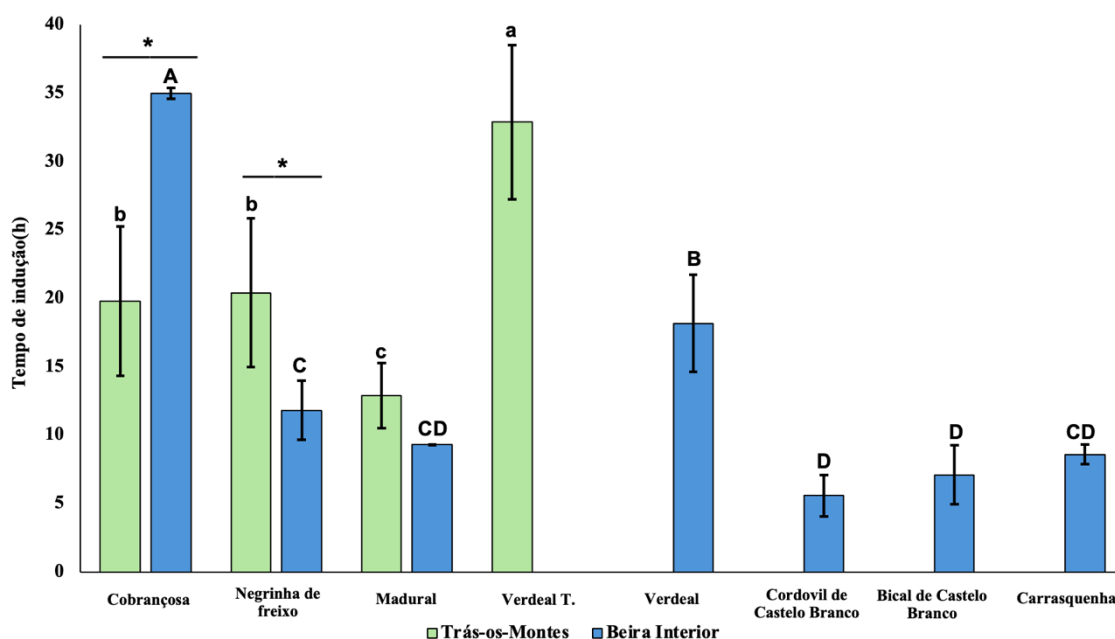


Figura 13 - Estabilidade oxidativa, expressa em horas, de amostras de azeite extraídas de diferentes cultivares cultivadas em diferentes regiões. Letras minúsculas, maiúsculas e asterisco nas colunas indicam diferenças estatisticamente significativas (valor de $p < 0,05$) entre as cultivares em Trás-os-Montes, as cultivares na Beira Interior e as mesmas cultivares em regiões diferentes, respectivamente (ANOVA, seguida do teste de Tukey).

A região de produção induziu diferenças significativas na estabilidade oxidativa dos azeites extraídos das cultivares Cobrançosa e Negrinha de Freixo. As oliveiras da cultivar Cobrançosa da Beira Interior apresentaram maior estabilidade oxidativa do que as da mesma cultivar da região de Trás-os-Montes. Neste caso, o tempo de indução foi

de 20,4 horas na região de Trás-os-Montes e de 35 horas na Beira Interior. Comparando com os resultados apresentados nas Figuras 11 e 12, é possível observar que as oliveiras da cultivar Cobrançosa cultivadas na região da Beira Interior apresentaram maior atividade antioxidante, como determinado pelo método de inibição do radical livre de DPPH e pelo teor de fenóis totais, embora estatisticamente não significativo. Esta diferença poderá estar a contribuir para uma maior estabilidade oxidativa destes azeites, quando comparados com os obtidos de Cobrançosa da região de Trás-os-Montes. A maior estabilidade oxidativa dos azeites da Cobrançosa da Beira Interior podem também ser justificados por apresentarem um maior teor de α -tocoferóis, e fenóis totais, que estudos como o de Lamas et al., (2024) sugerem ser mais abundante em azeites desta região (Lamas et al., 2024). Adicionalmente, a composição em ácidos gordos do azeite é um dos principais determinantes da estabilidade oxidativa do azeite (Montaño et al., 2016). O ácido oleico (monoinsaturado) possui maior estabilidade, enquanto os ácidos gordos polinsaturados, como o ácido linoleico e linolénico, são mais suscetíveis à oxidação devido à presença de múltiplas ligações duplas (Gutiérrez, 1999).

Para as cultivares Negrinha de Freixo e Madural, as amostras de azeite extraídas de oliveiras cultivadas na região de Trás-os-Montes apresentaram maior estabilidade oxidativa em relação as colhidas na Beira Interior, tendo sido detetadas diferenças significativas entre as regiões para as cultivares Negrinha de Freixo e Cobrançosa. A elevada estabilidade da Verdeal Transmontana em Trás-os-Montes (33 h) é consistente com a sua conhecida riqueza em ácido oleico (76-80%) (Sousa et al., 2015). Esta composição, rica em ácido oleico, confere alta proteção ao azeite contra degradação oxidativa.

As amostras de azeite extraídas das restantes cultivares analisadas, Madural, Cordovil de Castelo Branco, Bical de Castelo Branco e Carrasquenha, apresentaram os níveis mais reduzidos de estabilidade oxidativa. A estabilidade moderada da Madural (13 h em Trás-os-Montes, 9,5 h na Beira Interior) pode ser atribuída a um teor relativamente maior de ácido linoleico, em comparação com cultivares mais estáveis, tornando-a mais vulnerável à oxidação (Servili et al., 2009). As cultivares Cordovil de Castelo Branco, Bical de Castelo Branco e Carrasquenha, com tempos de indução inferiores a 10 horas na Beira Interior, são consistentemente classificadas na literatura como de menor estabilidade oxidativa (Conceição, 2020). Isso pode ser devido a um perfil de ácidos gordos menos favorável (maior proporção de ácidos polinsaturados) ou a um menor teor

de antioxidantes naturais em comparação com cultivares como a Cobrançosa e a Verdeal Transmontana.

Com o objetivo de avaliar a relação entre a atividade antioxidante, determinada pelo método de inibição do radical livre de DPPH e pelo teor de fenóis totais, e a estabilidade oxidativa (Rancimat) nos diferentes cultivares de azeite, realizou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA). Os resultados obtidos na PCA estão apresentados na Figura 14, os gráficos apresentados correspondem às amostras da região de Trás-os-Montes (Figura 14A), Beira Interior (Figura 14B) e a análise conjunta de ambas as regiões (Figura 14C).

Na análise realizada para a região de Trás-os-Montes (Figura 14A), os três primeiros componentes principais, PC1, PC2 e PC3, explicaram 77,7%, 20,5% e 1,8% da variância total, respetivamente. Esses resultados indicam que grande parte da variabilidade entre as amostras pode ser representada pelos dois primeiros componentes principais (98,2 %). Observa-se uma tendência de separação entre as cultivares mantidas em Trás-os-Montes, sugerindo que as diferenças observadas na atividade antioxidante e na estabilidade oxidativa podem contribuir para distinguir as cultivares analisadas.

Relativamente à PCA desenvolvida para as cultivares da Beira Interior (Figura 14B), os três primeiros componentes principais explicaram 72,1%, 24,3 % e 3,6 % da variância total, respetivamente. A distribuição das amostras no espaço nos evidencia uma relação entre fenóis totais e atividade antioxidante (DPPH), confirmando a influência dos fenóis totais na capacidade antioxidante dos azeites, e consequentemente na diferenciação das cultivares.

A Figura 14C apresenta a PCA realizada com as amostras de ambas as regiões. Os três primeiros componentes principais explicaram 100% da variabilidade dos dados, sendo PC1 responsável por 85,5%, PC2 por 13,2% e PC3 por 1,39%. Observa-se uma tendência de separação entre as amostras das regiões de Trás-os-Montes e da Beira Interior, sugerindo que as diferenças nos parâmetros analisados entre as mesmas cultivares podem refletir o impacto que as condições edafoclimáticas de cada região exercem na estabilidade oxidativa e atividade antioxidante dos respetivos azeites.

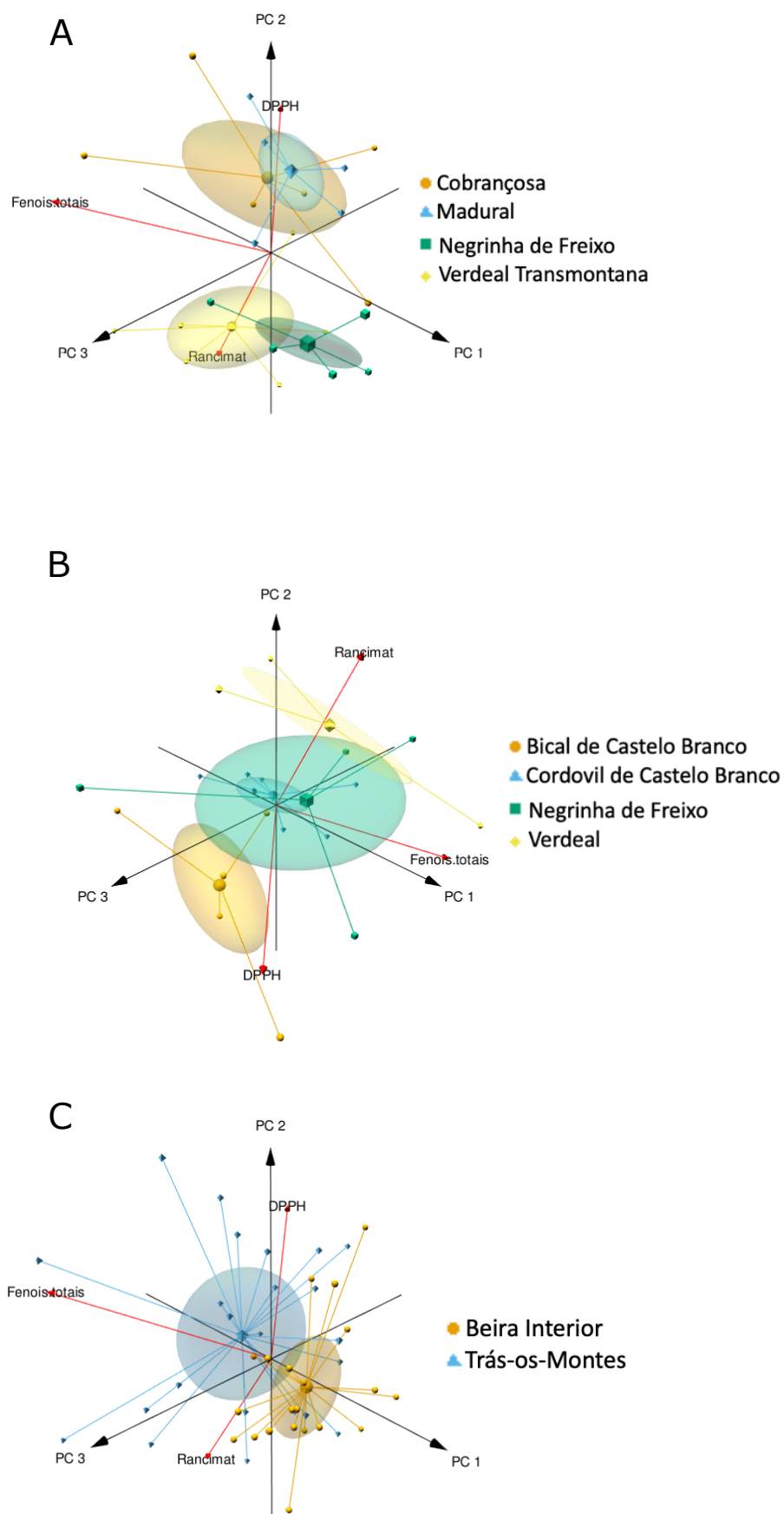


Figura 14 - Análise de componentes principais com os dados da percentagem de inibição do radical livre DPPH, teor em fenóis totais e estabilidade oxidativa para azeites extraídos de oliveiras da região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B) e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).

4.7 Nariz Eletrônico

A Figura 15 apresenta o resultado da Análise Discriminante Linear (LDA) aplicada aos dados obtidos pelo nariz eletrônico (*e-nose*) para amostras de azeite das regiões de Trás-os-Montes (Figura 15A), Beira Interior (Figura 15B) e ambas (Figura 15C). Esta abordagem multivariada foi utilizada com o objetivo de maximizar a separação entre diferentes grupos de amostras, com base no perfil de compostos voláteis detectados por cada sensor do equipamento. Os sensores semicondutores óxido-metálicos usados no *e-nose* reagem com certos compostos voláteis (cada sensor reage a um grupo ou composto específico), gerando variações na resistência eléctrica que se traduzem em sinais (Teixeira et al., 2021).

Com os dados obtidos dos sensores S5, S6, S7, S8, S14 e S16, foi construída a LDA para as amostras de Trás-os-Montes (Figura 15A). Os fatores discriminantes (DF1 e DF2) explicaram 97,9% da variabilidade dos dados, sendo o DF1 responsável por 70,0% e o DF2 por 27,9%. Foi possível observar uma separação evidente entre as cultivares Negrinha de Freixo, Verdeal Transmontana e Cobrançosa, o que indica o potencial do *e-nose* para discriminar os perfis aromáticos dos azeites analisados da região de Trás-os-Montes (Figura 15A). A cultivar Madural compartilha características voláteis com todas as outras cultivares, como é possível observar pela sobreposição dos diferentes grupos. O modelo foi avaliado através dos métodos de validação. A eficácia original da classificação foi de 96%. A validação LOO-CV apresentou uma média de 91% de eficácia, enquanto a validação *Repeated K-Fold* apresentou 85%, o que evidencia a boa consistência do modelo na classificação dos azeites para cada cultivar.

A Figura 15B apresenta o resultado da análise LDA utilizando os dados fornecidos pelo *e-nose* sobre as amostras de azeite da região da Beira Interior. Foram utilizados 8 sensores para construir o modelo (S1, S2, S6, S7, S9, S11, S12, S14). O primeiro fator discriminante (DF1) foi responsável por 89,9% da variabilidade dos dados, enquanto o segundo (DF2) explicou 6,4%, totalizando 96,3% da variabilidade contabilizada pelo modelo.

Ao analisar a Figura 15B é possível observar a elevada capacidade do nariz eletrônico de separar e identificar o perfil aromático dos azeites dessa região. Os azeites das cultivares Negrinha de Freixo e Verdeal da Beira Interior apresentam um perfil volátil diferenciado, permitindo a sua fácil discriminação. Já a Bical de Castelo Branco e a Cordovil de Castelo Branco apresentam menor dissimilaridade no perfil volátil dos

azeites produzidos, como se observa pela sobreposição entre os dois grupos (Figura 15B). O modelo desenvolvido apresentou boa consistência, com precisão original de 100%, seguida de testes de validação LOO-CV com 80% e Repeated K-Fold com 73% de eficácia. Estes resultados indicam que o modelo estatístico desenvolvido com base nos dados do e-nose consegue discriminar e classificar corretamente os azeites provenientes de diferentes cultivares da Beira Interior.

A Figura 15C mostra o resultado da LDA aplicada aos dados do nariz eletrónico (e-nose), considerando amostras de azeite provenientes das regiões de Trás-os-Montes e de Beira Interior. O modelo foi construído com base nas respostas de seis sensores selecionados (S5, S6, S7, S8, S14 e S16), os mais relevantes para a discriminação entre as amostras. Com base nos resultados apresentados na Figura 15C, é possível concluir que os compostos voláteis detetados pelos sensores mencionados anteriormente permitiram discriminar as amostras de azeite obtidas de oliveiras cultivadas nas regiões de Trás-os-Montes e Beira Interior.

O desempenho do modelo estatístico aplicado corrobora essas afirmações, com uma taxa de classificação original de 100% e uma validação LOO-CV de 98%, o que evidencia a alta capacidade do modelo de discriminar os resultados e sugere uma influência significativa da origem geográfica na composição e na concentração dos compostos voláteis nos azeites.

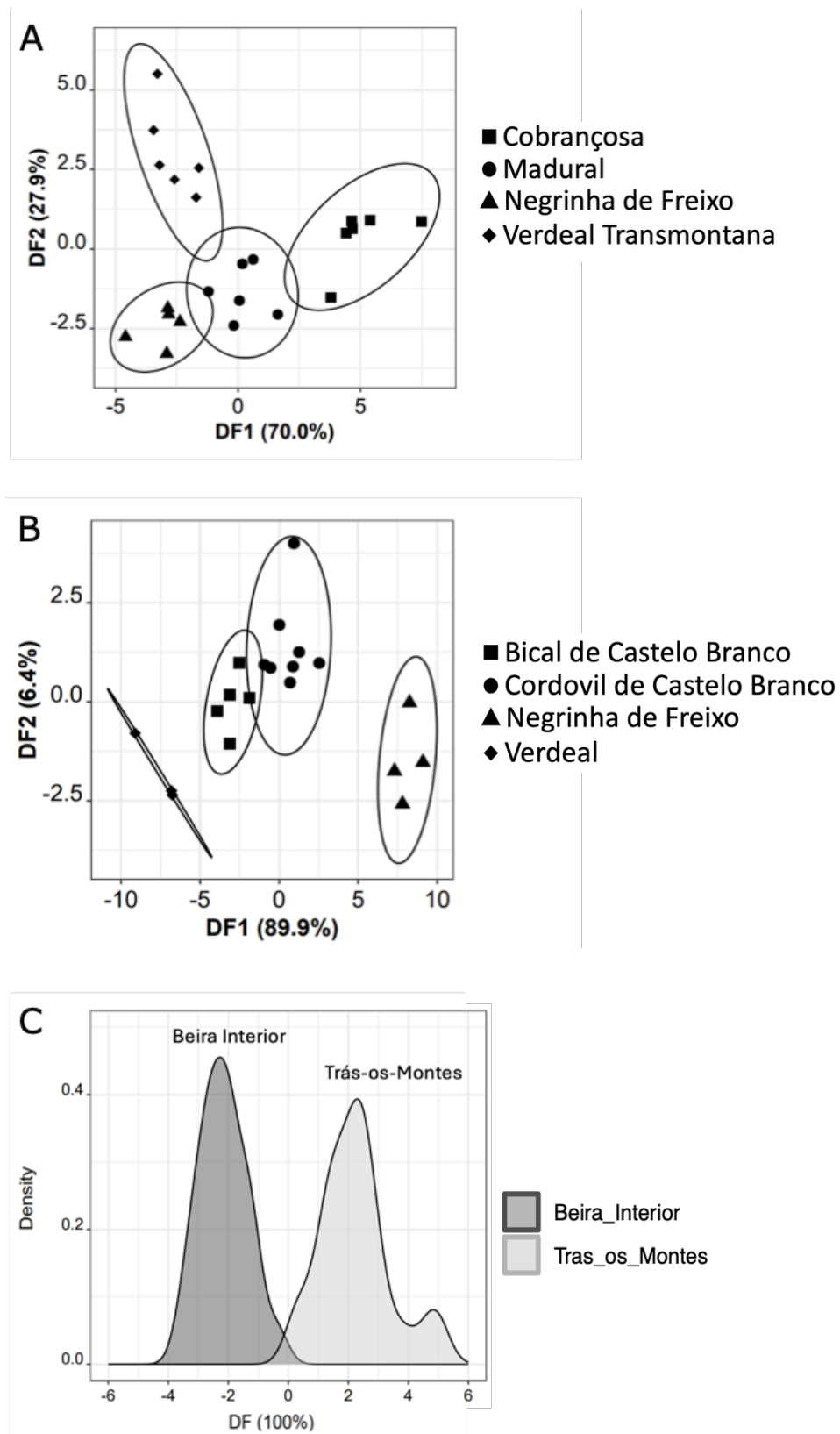


Figura 15 - Análise discriminante linear com base nos resultados obtidos do nariz eletrónico (e-nose). Região de Trás-os-Montes (A), Beira Interior (B) e ambas as regiões incluídas na mesma análise (C).

5. Conclusão

O presente trabalho demonstrou que com a análise sensorial olfativa e gustativa, foi possível determinar que os referidos parâmetros têm elevado potencial para discriminar azeites de diferentes cultivares e regiões. Os azeites extraídos das oliveiras da região de Trás-os-Montes, apresentaram maior intensidade nos atributos olfativos de tomate e couve, para o gustativo notas de frutado verde e couve. A região da Beira Interior destacou-se apresentando maior intensidade nos atributos gustativos de maduro, doce e banana.

Por cromatografia gasosa, foram identificados 22 compostos voláteis pertencentes a sete famílias. O (E)-2-Hexenal e 1-Penten-3-ona foram os compostos detetados em maiores concentrações para ambas as regiões, e por serem mais discriminantes entre regiões e cultivares.

A Cobrançosa foi a cultivar com maior atividade antioxidante nas regiões de Trás-os-Montes e Beira Interior. Para as restantes cultivares comuns às duas regiões, verificou-se que os azeites provenientes de Trás-os-Montes apresentaram maior atividade antioxidante, sendo este efeito estatisticamente significativo para as cultivares Verdeal Transmontana e Madural.

De forma semelhante, a cultivar Cobrançosa da Beira Interior foi a que apresentou a maior estabilidade oxidativa, significativamente superior aos valores observados na região de Trás-os-Montes. Tal como observado para a atividade antioxidante, para as restantes cultivares foi a região de Trás-os-Montes que levou à produção de azeites com maior estabilidade oxidativa, sendo estas diferenças entre regiões estatisticamente relevantes para as cultivares Verdeal Transmontana e Negrinha de Freixo. A Cordovil de Castelo Branco, Bical de Castelo Branco e Carrasquenha apresentaram valores semelhantes nas três análises (efeito bloqueador dos radicais livres de DPPH, teor de fenóis totais e estabilidade oxidativa).

Os resultados obtidos com o nariz eletrónico evidenciaram que esta tecnologia não invasiva permite discriminar eficazmente os azeites provenientes de diferentes cultivares e regiões de produção.

A aplicação de métodos estatísticos, nomeadamente a LDA e PCA, permitiu uma discriminação eficaz das amostras, quer entre cultivares de Trás-os-Montes, quer da Beira Interior, bem como na comparação entre ambas as regiões.

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram confirmar que os azeites das duas regiões apresentam perfis diferentes, evidenciando diferenças ao nível dos atributos sensoriais, da atividade antioxidante e perfil volátil. Estes resultados demonstram a influência das condições agronómicas e edafoclimáticas de cada região na qualidade e nas características do azeite produzido.

Como perspetiva futura, seria pertinente alargar o estudo a outras regiões olivícolas, como o Alentejo, bem como incluir um número maior de cultivares em estudo. Desta forma, seria possível aprofundar o conhecimento sobre os padrões de variação da qualidade dos azeites em função da região de produção. De forma complementar, seria relevante incorporar análises relacionadas com parâmetros morfológicos e capacidade produtiva, de modo a avaliar de que modo a região influencia características como o peso, o tamanho do fruto e do endocarpo e o rendimento. Adicionalmente, a integração dos resultados da caracterização química do azeite com dados climáticos, como temperatura e precipitação do ano em estudo, permitiria compreender de forma mais aprofundada a relação entre as condições ambientais e as diferenças nas características dos azeites entre regiões.

Referências

- Albuquerque, T. G., Costa, H. S., & Oliveira, M. B. P. P. (2019). An Overview of Portuguese Olive Oils and Table Olives with Protected Designation of Origin. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(5), 1800129. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800129>.
- Amini, Dr. A., Gholami Anjileh, H., & Amirfaridi, H. (2025). *Fast and Portable Single-Sensor Electronic Nose for Accurate Quality Assessment of Extra Virgin Olive Oil Using a Temperature-Modulated Generic Gas Sensor*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5094053>.
- Arsénio, P., & Madeira, M. A. V. (2022). Beira Interior: Região de contrastes.
- Arslan, D., Karabekir, Y., & Schreiner, M. (2013). Variations of phenolic compounds, fatty acids and some qualitative characteristics of Sariolak olive oil as induced by growing area. *Food Research International*, 54(2), 1897–1906. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.016>.
- Bach-Faig, A., Berry, E. M., Lairon, D., Reguant, J., Trichopoulou, A., Dernini, S., Medina, F. X., Battino, M., Belahsen, R., Miranda, G., & Serra-Majem, L. (2011). Mediterranean diet pyramid today. Science and cultural updates. *Public Health Nutrition*, 14(12A), 2274–2284. <https://doi.org/10.1017/S1368980011002515>.
- Belmonte-Sánchez, J. R., Romero-González, R., Tello-Jiménez, J. A., & Garrido Frenich, A. (2026). Comparative evaluation of low- and high-field ¹H NMR for vegetable oil authentication: Classification, quantification, and routine applicability. *Talanta*, 300, 129231. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.129231>.
- Benlloch-González, M., Sánchez-Lucas, R., Bejaoui, M. A., Benlloch, M., & Fernández-Escobar, R. (2019). Global warming effects on yield and fruit maturation of olive trees growing under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 249, 162–167. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.046>.
- Bortoluzzi, L., Casal, S., Cruz, R., Peres, A. M., Baptista, P., & Rodrigues, N. (2023). Influence of Interannual Climate Conditions on the Composition of Olive Oil from Centenarian Olive Trees. *Agronomy*, 13(12), 2884. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122884>.
- Boskou, D. (2015). Mediterranean Diet Food: Strategies to Preserve a Healthy Tradition. *Journal of Experimental Food Chemistry*, 1(1). <https://doi.org/10.4172/2472-0542.1000104>.
- Calado, J. G. (2024). A olivicultura em Portugal. Vida Rural, Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, MED – Instituto Mediterrâneo para a Agricultura,

Ambiente e Desenvolvimento, Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora.

- Caporaso, N. (2016). Virgin Olive Oils: Environmental Conditions, Agronomical Factors and Processing Technology Affecting the Chemistry of Flavor Profile. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.17756/jfcn.2016-007>.
- Chéu-Guedes, M. H., La Rubia, M. D., Sánchez, S., Ramos, N., & Pacheco, R. (2023). Characterization of Flavoured Olive Oils of ‘Madural’ Variety. *Processes*, 11(1), 205. <https://doi.org/10.3390/pr11010205>.
- CIM-TTM. (2026). Comunidade Intermunicipal das Terras de Trás-os-Montes. Disponível online em: <https://www.cim-ttm.pt/pages/441>. Acedido a 20 de março de 2026.
- COI (2011). Conselho Oleícola Internacional. COI/OH/Doc. No 1 November 2011. Disponível em: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-OH-Doc.-1-2011-Eng.pdf>. Acedido a 6 de março de 2026.
- COI (2018). Conselho Oleícola Internacional. COI/T.20/Doc. No 15/Rev. 10. Disponível online em: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2019/11/COI-T20-Doc.-15-REV-10-2018-Eng.pdf>. Acedido a 3 de março de 2026.
- COI (2022). Conselho Oleícola Internacional. Disponível online em: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2022/07/OLIVE-RESILIENCE-ENG-rev.pdf>. Acedido em 23 de março de 2026.
- COI (2024). Conselho Oleícola Internacional. Disponível online em: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2023/12/IOC-Olive-Oil-Dashboard.html#production-1> Acedido a 6 de março de 2026.
- COI (2025). Conselho Oleícola Internacional. Disponível online em: <https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/statistics/>. Acedido a 10 de março de 2026.
- COI (2026)a. Conselho Oleícola Internacional. Disponível online em: <https://www.internationaloliveoil.org/olive-sector-statistics-december-2025-and-forecasts/>. Acedido em 23 de março de 2026.
- COI (2026)b. Conselho Oleícola Internacional. *Olive sector statistics – December 2025 and forecasts*. Disponível online em: <https://www.internationaloliveoil.org/olive-sector-statistics-december-2025-and-forecasts/>
- Comissão Europeia. (2025). Geographical indications and quality schemes explained. Disponível online em <https://agriculture.ec.europa.eu/farming/geographical-indications->

and-quality-schemes/geographical-indications-and-quality-schemes-explained_pt.

Acedido a 19 de março de 2026.

- Conceição, B. (2020). Caracterização Química e Sensorial de Azeites de Montanha. Tese de Mestrado em Inovação e Qualidade na Produção Alimentar. Instituto Politécnico de Castelo Branco: Escola Superior Agrária.
- Cordeiro, A. M., & França Inês, C. S. (2016). Recursos genéticos da oliveira e a sua preservação no contexto das alterações climáticas. *Olivicultura*, abril/maio/junho, 6–9.
- Cordeiro, A.M., Santos, M.L., Morais, N. C. de, & Miranda, A. P., (2013). As cultivares de oliveira de referência, Portugal oleícola. Em: *O grande livro da oliveira e do azeite*. (pp.200-210). Dinalivro.pp188-220
- Crespo, N., Pádua, L., Paredes, P., Rebollo, F. J., Moral, F. J., Santos, J. A., & Fraga, H. (2025). Spatial–Temporal Dynamics of Vegetation Indices in Response to Drought Across Two Traditional Olive Orchard Regions in the Iberian Peninsula. *Sensors*, 25(6), 1894. <https://doi.org/10.3390/s25061894>.
- Damak, F., Bougi, M. S. M., Araoka, D., Baba, K., Furuya, M., Ksibi, M., & Tamura, K. (2021). Soil geochemistry, edaphic and climatic characteristics as components of Tunisian olive terroirs: Relationship with the multielemental composition of olive oils for their geographical traceability. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 6(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s41207-021-00241-y>.
- Derewiaka, D., Majdak, K., Pakosz, P., & Drużyńska, B. (2025). Comparison of Selected Quality Parameters of Olive Oils Derived from Conventional and Organic Farming. *Applied Sciences*, 15(13), 7158. <https://doi.org/10.3390/app15137158>.
- DGADR (2025) Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. DOP - Denominação de Origem Protegida (Produtos agrícolas e géneros alimentícios). Disponível online em: <https://tradicional.dgadr.gov.pt/pt/produtos-por-regime-de-qualidade/dop-denominacao-de-origem-protegida>. Acedido a 20 de março de 2026.
- DGAV. (2025) Direção-Geral de Alimentação e Veterinária. Registo Nacional de Cultivares de Fruteiras. Disponível online em: https://www.dgav.pt/wp-content/uploads/2025/07/DGAV_RNVF_Edi-2025_compressed-1.pdf. Acedido a 9 de março de 2026.
- El Riachy, M., Moubarak, P., Al Hawi, G., Geha, M., Mushantaf, W., Estephan, N., & Skaff, W. (2023). Fatty Acid and Phenolic Profiles of Virgin Olive Oils from Local and European Varieties Planted in Lebanon. *Plants*, 12(14), 2681. <https://doi.org/10.3390/plants12142681>.

- EUROSTAT (2020). Agriculture, forestry and fishery statistics. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 230 pp. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/12069644/KSFK-20-001-PT-N.pdf/a7439b01-671b-80ce-85e4-4d803c44340a?t=1608139005821>.
- Fereres, E. (2004). The Physiology of Adaptation and Yield Expression in Olive. Em J. Janick (Org.), *Horticultural Reviews* (1^o ed., p. 155–229). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch4>.
- Fernandes-Silva, A. A., Falco, V., Correia, C. M., & Villalobos, F. J. (2013). Sensory analysis and volatile compounds of olive oil (cv. Cobrançosa) from different irrigation regimes. *Grasas y Aceites*, 64(1), 59–67. <https://doi.org/10.3989/gya.069712>.
- Fernández, A., Martillanes, S., Lodolini, E. M., Martínez, M., Arias-Calderón, R., & Martín-Vertedor, D. (2023). Effect of elaboration process, crop year and irrigation on acrylamide levels of potential table olive varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(15), 7580–7589. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12877>.
- Fraga, H., Moriondo, M., Leolini, L., & Santos, J. A. (2020). Mediterranean Olive Orchards under Climate Change: A Review of Future Impacts and Adaptation Strategies. *Agronomy*, 11(1), 56. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010056>.
- FAOSTAT. (2022). Food and agriculture organization of the United Nations. Disponível online em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acedido a 17 de março de 2026.
- FAOSTAT. (2023). Food and agriculture organization of the United Nations. Disponível online em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acedido a 19 de março de 2026.
- Gutiérrez, F., Jiménez, B., Ruíz, A., & Albi, M. A. (1999). Effect of Olive Ripeness on the Oxidative Stability of Virgin Olive Oil Extracted from the Varieties Picual and Hojiblanca and on the Different Components Involved. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(1), 121–127. <https://doi.org/10.1021/jf980684i>.
- INE (2024) Estatísticas Agrícolas 2024. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística. 2024. Disponível online em url: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=000019&xlang=pt&contexto=bd&selTab=tab2. Acedido a 19 de março de 2026.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014). In Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, y.L.A. (Eds.), Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland 157 pp.

- Jukić Špika, M., Perica, S., Žanetić, M., & Škevin, D. (2021). Virgin Olive Oil Phenols, Fatty Acid Composition and Sensory Profile: Can Cultivar Overpower Environmental and Ripening Effect? *Antioxidants*, 10(5), 689. <https://doi.org/10.3390/antiox10050689>.
- Kostelenos, G. & Kiritsakis, A. (2017). Olive Tree History and Evolution. Olives and Olive Oil as Functional Foods: bioactivity, chemistry and processing, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 1–12. <https://doi.org/10.1002/9781119135340.ch1>.
- Kourek, C., Makaris, E., Magiatis, P., Zouganeli, V., Benetou, V., Briasoulis, A., Xanthopoulos, A., Paraskevaidis, I., Melliou, E., Koudounis, G., & Orfanos, P. (s.d.). *Effects of High-Phenolic Extra Virgin Olive Oil (EVOO) on the Lipid Profile of Patients with Hyperlipidemia: A Randomized Clinical Trial* "2279.
- Lamas, S., Rodrigues, N., Fernandes, I. P., Barreiro, M. F., Pereira, J. A., & Peres, A. M. (2021). Fourier transform infrared spectroscopy-chemometric approach as a non-destructive olive cultivar tool for discriminating Portuguese monovarietal olive oils. *European Food Research and Technology*, 247(10), 2473–2484. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03809-8>.
- Lamas, S., Ruano, D., Dias, F., Barreiro, F., Pereira, J. A., Peres, A. M., & Rodrigues, N. (2024). Application of the FTIR technique as a non-invasive tool to discriminate Portuguese olive oils with Protected Designation of Origin. *Chemistry & Biodiversity*, 21(2), e202301629. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202301629>.
- Leitão, F.A., Potes, M.F, Calado, M.L. & Almeida, F.J. (1986). Descrição de 22 Cultivares de Oliveira Cultivadas em Portugal. Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, Direcção - Geral de Planeamento e Agricultura, Lisboa, pp.18 - 102.
- Malheiro, R., Casal, S., Rodrigues, N., Renard, C. M. G. C., & Pereira, J. A. (2018). Volatile changes in cv. Verdeal Transmontana olive oil: From the drupe to the table, including storage. *Food Research International*, 106, 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.005>.
- Malheiro, R., Sousa, A., Casal, S., Bento, A., & Pereira, J. A. (2011). Cultivar effect on the phenolic composition and antioxidant potential of stoned table olives. *Food and Chemical Toxicology*, 49(2), 450–457. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.11.023>.
- Martins, F., Mina, D., Pereira, J. A., & Baptista, P. (2021). Endophytic fungal community structure in olive orchards with high and low incidence of olive anthracnose. *Scientific Reports*, 11(1), 689. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79962-z>.
- Martins, N., Jiménez-Morillo, N. T., Freitas, F., Garcia, R., Gomes Da Silva, M., & Cabrita, M. J. (2020). Revisiting 3D van Krevelen diagrams as a tool for the visualization of

- volatile profile of varietal olive oils from Alentejo region, Portugal. *Talanta*, 207, 120276. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120276>.
- Montaño, A., Hernández, M., Garrido, I., Llerena, J., & Espinosa, F. (2016). Fatty Acid and Phenolic Compound Concentrations in Eight Different Monovarietal Virgin Olive Oils from Extremadura and the Relationship with Oxidative Stability. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(11), 1960. <https://doi.org/10.3390/ijms17111960>.
- Monteiro, P. (2024). The production of olive-growing knowledge in Portugal: Ancestry, science, and landscape. *Gardens and Landscapes of Portugal*, 8(1), 28–38. <https://doi.org/10.2478/glp-2024-0004>.
- Oliveira, N. P., Ribeiro, S. A. F., & Souza, M. M. D. (2021). Controle de contaminação e oxidação no cultivo in vitro de oliveira (*Olea europaea* L.) cv. “Koroneiki”. *Research, Society and Development*, 10(5), e30710514929. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14929>.
- OLIVUM – Associação de Olivicultores e Lagares de Portugal. (2024). *Olivicultura: O motor da (r)evolução agrícola nacional: Relatório final. OLIVUM*.
- Paié-Ribeiro, J., Baptista, F., Gomes, M. J., Teixeira, A., Pinheiro, V., Outor-Monteiro, D., & Barros, A. N. (2024). Exploring the Variability in Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity in Olive Oil By-Products: A Path to Sustainable Valorization. *Antioxidants*, 13(12), 1470. <https://doi.org/10.3390/antiox13121470>.
- Peres, M. (2015). Influence of Enzymes and Tecnology on the Composition of Cobrançosa and Galega Vulgar Virgin Olive Oils. Tese de Doutorado em Engenharia Alimentar. Universidade de Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.
- Poço, R. (2021). Caracterização vitivinícola das denominações de origem da Beira Interior. Tese de Mestrado em Engenharia de Viticultura e Enologia. Universidade de Lisboa: Instituto Superior de Agronomia.
- Regulamento (UE) 2024/1143 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de abril de 2024, relativo às indicações geográficas para o vinho, as bebidas espirituosas e os produtos agrícolas, bem como às especialidades tradicionais garantidas e às menções de qualidade facultativas para os produtos agrícolas.
- Regulamento (UE) 432/2012 da Comissão, de 16 de maio de 2012, que estabelece uma lista de alegações de saúde permitidas relativas a alimentos que não referem a redução de um risco de doença ou o desenvolvimento e a saúde das crianças Jornal oficial L36, pp. 1-40.

- Regulamento de Execução (UE) 2022/2105 da Comissão, de 29 de julho de 2022, que estabelece as regras relativas aos controlos de conformidade das normas de comercialização do azeite e aos métodos de análise das características do azeite. *Jornal oficial* L284, pp. 23-48.
- Regulamento Delegado (UE) 2022/2104 da Comissão de 29 de julho de 2022 que complementa o Regulamento (UE) n.o 1308/2013 do Parlamento Europeu e do Conselho no respeitante às normas de comercialização do azeite e que revoga o Regulamento (CEE) n.o 2568/91 da Comissão e o Regulamento de Execução (UE) n.o 29/2012 da Comissão. *Jornal oficial* L284, pp. 1-22. http://data.europa.eu/eli/reg_del/2022/2104/oj
- Reis, P. (2014). O olival em Portugal: Dinâmicas, tecnologias e relação com o desenvolvimento rural. *Animar – Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Local*.
- Rocha, P., Lamas, S., Casal, S., Martins, L. L., & Rodrigues, N. (2026). Can the region of production affect the quality and composition of olive oil? Comparative study on two olive cultivars. *Applied Food Research*, 6(1), 101689. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2026.101689>.
- Rodrigues, N., Casal, S., Peres, A. M., Baptista, P., Bento, A., Martín, H., Asensio-S.-Manzanera, M. C., & Pereira, J. A. (2018). Effect of olive trees density on the quality and composition of olive oil from cv. Arbequina. *Scientia Horticulturae*, 238, 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.059>.
- Rodrigues, N., Casal, S., Peres, A. M., Baptista, P., & Pereira, J. A. (2020). Seeking for sensory differentiated olive oils? The urge to preserve old autochthonous olive cultivars. *Food Research International*, 128, 108759. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108759>.
- Rodrigues, N., Dias, L. G., Veloso, A. C. A., Pereira, J. A., & Peres, A. M. (2016). Monitoring olive oils quality and oxidative resistance during storage using an electronic tongue. *LWT*, 73, 683–692. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.002>.
- Rodrigues, N., Ferreiro, N., Ruano, D., Dias, F., Veloso, A. C. A., Pereira, J. A., & Peres, A. M. (2024). Electronic nose: A tool to verify the PDO declaration of Portuguese olive oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(4), 2952–2964. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02374-4>.
- Rodrigues, N., Peres, A. M., Baptista, P., & Pereira, J. A. (2022). Olive Oil Sensory Analysis as a Tool to Preserve and Valorize the Heritage of Centenarian Olive Trees. *Plants*, 11(3), 257. <https://doi.org/10.3390/plants11030257>.

- Rodrigues, N., Peres, F., Casal, S., Santamaria-Echart, A., Barreiro, F., Peres, A. M., & Alberto Pereira, J. (2023). Geographical discrimination of olive oils from Cv. ‘Galega Vulgar’. *Food Chemistry*, 398, 133945. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133945>.
- Rowley, C. E., Singh, Z., Steck, A., Schuetz, B., Spraul, M., Brockman, H., Wang, Y., Itsiopoulos, C., Nicholson, J. K., Lodge, S., Holmes, E., Frost, G., Bernal, A., & Loo, R. L. (2025). NMR spectroscopy-derived index for the nutritional assessment of extra virgin olive oils based on fatty acids profiling. *Food Chemistry*, 490, 144241. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144241>.
- Servili, M., Esposto, S., Fabiani, R., Urbani, S., Taticchi, A., Mariucci, F., Selvaggini, R., & Montedoro, G. F. (2009). Phenolic compounds in olive oil: Antioxidant, health and organoleptic activities according to their chemical structure. *Inflammopharmacology*, 17(2), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s10787-008-8014-y>.
- Silva, D. (2011). Um contributo para a sua caracterização e desenvolvimento no âmbito das medidas agro-ambientais. Tese de Mestrado em Zootecnia. Universidade de Évora: Escola de Ciências e Tecnologia.
- Silva, K., Rodrigues, N., Pereira, J. A., & Ramalhosa, E. (2022). Characterisation of Olive Oils from the Douro Valley, Portugal: Study of the Volatile Fraction and Its Relationship with Sensory Characteristics. *Applied Sciences*, 12(18), 9246. <https://doi.org/10.3390/app12189246>.
- Silveira, C., Almeida, A., & Ribeiro, A. C. (2022). Technological Innovation in the Traditional Olive Orchard Management: Advances and Opportunities to the Northeastern Region of Portugal. *Water*, 14(24), 4081. <https://doi.org/10.3390/w14244081>.
- Sousa, A. (2015). Determinação do ponto ótimo de colheita das cultivares de oliveira pertencentes à denominação de origem protegida “azeite de Trás-os-Montes”. Tese do 3º Ciclo de Estudos Conducente ao Grau de Doutoramento em Ciências Farmacêuticas, especialidade de Nutrição e Química dos Alimentos. Universidade do Porto.
- Teixeira, G. G., Dias, L. G., Rodrigues, N., Marx, Í. M. G., Veloso, A. C. A., Pereira, J. A., & Peres, A. M. (2021). Application of a lab-made electronic nose for extra virgin olive oils commercial classification according to the perceived fruitiness intensity. *Talanta*, 226, 122122. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122122>.
- Temime, S. B., Manai, H., Methenni, K., Baccouri, B., Abaza, L., Daoud, D., Casas, J. S., Bueno, E. O., & Zarrouk, M. (2008). Sterolic composition of Chétoui virgin olive oil: Influence of geographical origin. *Food Chemistry*, 110(2), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.012>.

- Tura, D., Gigliotti, C., Pedò, S., Failla, O., Bassi, D., & Serraiocco, A. (2007). Influence of cultivar and site of cultivation on levels of lipophilic and hydrophilic antioxidants in virgin olive oils (*Olea Europea* L.) and correlations with oxidative stability. *Scientia Horticulturae*, 112(1), 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.036>.
- Unsal, V., Yıldız, R., Korkmaz, A., Mert, B. D., Caliskan, C. G., & Oner, E. (2025). Evaluation of extra virgin olive oil compounds using computational methods: In vitro, ADMET, DFT, molecular docking and human gene network analysis study. *BMC Chemistry*, 19(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13065-024-01369-y>.
- Vaz-Freire, L. T., Da Silva, M. D. R. G., & Freitas, A. M. C. (2009). Comprehensive two-dimensional gas chromatography for fingerprint pattern recognition in olive oils produced by two different techniques in Portuguese olive varieties Galega Vulgar, Cobrançosa e Carrasquenha. *Analytica Chimica Acta*, 633(2), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.11.057>.
- Vaz-Freire, L. T., Palma, V., Gouveia, J. B., & Freitas, A. C. (s.d.). *Comparação de azeites obtidos da cultivar portuguesa Galega Vulgar utilizando dois métodos de extracção*.
- Zakraoui, M., Hannachi, H., Pasković, I., Vidović, N., Polić Pasković, M., Palčić, I., Major, N., Goreta Ban, S., & Hamrouni, L. (2023). Effect of Geographical Location on the Phenolic and Mineral Composition of Chetoui Olive Leaves. *Foods*, 12(13), 2565. <https://doi.org/10.3390/foods12132565>.

Anexos

Anexo A1 - Coordenadas das 23 amostras da região de Trás-os-Montes.

Código	Amostra	Localização	Latitude	Longitude
B1A1	Cobrançosa	Macedo de Cavaleiros	41.545313	-7.052135
B1A2	Cobrançosa	Vila Flor	41.35961614	-7.08765708
B1A3	Cobrançosa	Bragança	41.808313	-6.733832
B1A4	Cobrançosa	Mirandela-Suçães	41.491646	-7.256656
B1A5	Cobrançosa	Vimioso	41.546093	-6.647393
B1A6	Cobrançosa	Mirandela-Abrambes	41.5717790	-7.1812940
B1A7	Negrinha de Freixo	Bragança	41.806764	-6.731005
B1A8	Negrinha de Freixo	Alfândega da Fé	41.2910386	-6.9987007
B1A9	Negrinha de Freixo	Vila Flor	41.35961614	-7.08765708
B1A10	Negrinha de Freixo	Mirandela-Suçães	41.491011	-7.262354
B1A11	Negrinha de Freixo	Mirandela-Romeu	41.533611	-7.070325
B1A12	Verdeal Transmontana	Vimioso	41.544934	-6.647660
B1A13	Verdeal Transmontana	Macedo de Cavaleiros	41.545664	-7.053562
B1A14	Verdeal Transmontana	Vila Flor	41.367884	-7.121577
B1A15	Verdeal Transmontana	Bragança	41.808313	-6.733832
B1A16	Verdeal Transmontana	Mirandela-Suçães	41.491646	-7.256656
B1A17	Verdeal Transmontana	Mirandela-Abrambes	41.5717890	-7.1814640
B1A18	Madural	Mirandela-Abrambes	41.5585210	-7.1792480
B1A19	Madural	Vila Flor	41.368080	-7.121480
B1A20	Madural	Mirandela-Romeu	41.532505	-7.071065
B1A21	Madural	Mirandela-Suçães	41.492344	-7.258002
B1A22	Madural	Vimioso	41.546010	-6.647167
B1A23	Madural	Macedo de Cavaleiros	41.545313	-7.052135

Anexo A2 - Coordenadas das 24 amostras da região da Beira Interior.

Código	Amostra	Localização	Latitude	Longitude
C1A1	Cordovil de Castelo Branco	C. Novo	40.07759	-7.47892
C1A2	Cordovil de Castelo Branco	CB(1)	39.82107	-7.45861
C1A3	Cordovil de Castelo Branco	CB(2)	39.82246	-7.4606
C1A4	Cordovil de Castelo Branco	Fundão	40.13881	-7.51147
C1A5	Cordovil de Castelo Branco	Idanha	40.03136	-7.16807
C1A6	Cordovil de Castelo Branco	Mata	39.89548	-7.35074
C1A7	Cordovil de Castelo Branco	Oledo	39.90919	-7.16732
C1A8	Cordovil de Castelo Branco	Sarzedas	39.84962	-7.69673
C1A9	Bical de Castelo Branco	CB	39.82369	-7.46109
C1A10	Bical de Castelo Branco	Fundão	40.13881	-7.51147
C1A11	Bical de Castelo Branco	Idanha	40.10481	-7.15233
C1A12	Bical de Castelo Branco	Mata	39.89548	-7.35074
C1A13	Bical de Castelo Branco	Oledo	39.90919	-7.16732
C1A14	Negrinha de Freixo	FCR (L)	40.87417	-7.08575
C1A15	Negrinha de Freixo	FCR	40.87417	-7.08575
C1A16	Negrinha de Freixo	Sarzedas	39.92286	-7.62501
C1A17	Negrinha de Freixo	Sarzedas (L)	39.92286	-7.62501
C1A18	Verdeal	FCR	40.88153	-7.08252
C1A19	Verdeal	Sarzedas	39.92286	-7.62501
C1A20	Verdeal	Sarzedas (L)	39.92286	-7.62501
C1A21	Carrasquenha	CB	39.82107	-7.45861
C1A22	Carrasquenha	Penha Garcia (Idanha)	40.02894	-7.0117
C1A23	Cobrançosa	FCR	40.8461	-6.86079
C1A24	Madural	Belmonte	40.36315	-7.33613