



BIOFORTIFICAÇÃO EM ZINCO APLICADA AO SETOR VITIVINÍCOLA

DIANA FREIRE DACCAK

Mestre em Tecnologias de Produção e Transformação
Agro-industrial

DOUTORAMENTO EM TECNOLOGIAS AGROINDUSTRIAIS

Universidade NOVA de Lisboa

Janeiro, 2025

BIOFORTIFICAÇÃO EM ZINCO APLICADA AO SETOR VITIVINÍCOLA

DIANA FREIRE DACCAK

Mestre em Tecnologias de Produção e Transformação Agro-industrial

Orientador: Fernando José Cebola Lidon
Professor Catedrático, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Coorientadores: Maria Manuela Abreu da Silva
Professora Associada, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa
Nuno Esteves de Carvalho
Diretor Geral e Sócio-Gerente da Empresa Ambiosfera

Júri:

Presidente: José Carlos Ribeiro Kullberg,
Professor Catedrático, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Arguentes: Diogo Francisco Caeiro Figueiredo,
Professor Catedrático, Escola de Ciência e Tecnologia da Universidade de Évora
Jorge Manuel Martins Cunha,
Investigador Auxiliar, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.

Orientador: Fernando José Cebola Lidon,
Professor Catedrático, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Membros: Vânia Sofia Santos Ribeiro,
Professora Coordenadora, Instituto Politécnico de Leiria

Ana Rita Pereira da Costa,
Investigadora Auxiliar, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.

Fernanda Paula da Silva Simões de Matos,
Investigadora Auxiliar, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.

Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro,
Professora Associada com Agregação, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

DOUTORAMENTO EM TECNOLOGIAS AGROINDUSTRIAIS

Universidade NOVA de Lisboa
Janeiro, 2025

Biofortificação em Zinco Aplicada ao Setor Vitivinícola

Copyright © Diana Freire Daccak, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

A todos que me apoiaram e acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Queria começar por agradecer, as oportunidades durante o meu percurso académico, a orientação e a passagem de conhecimento que me permitiu crescer a nível académico, profissional e pessoal.

Ao meu orientador Professor Fernando José Cebola Lidon, gostaria de expressar a minha mais sincera gratidão pelo acompanhamento ao longo desta fase académica, seja pela aprendizagem, disponibilidade e compromisso demonstrado neste projeto. Querendo também destacar que todas as orientações foram valiosas para o meu desenvolvimento académico, profissional e pessoal e pela contagiante partilha de conhecimento, a qual valorizo e irei certamente continuar a aplicar daqui em diante.

Aos meus co-orientadores Professora Maria Manuela Abreu da Silva e ao Sócio Gerente e Diretor Geral da empresa Ambiosfera, Engenheiro Nuno Esteves de Carvalho, pelo acompanhamento crucial para este projeto e pelos conhecimentos transmitidos nas diferentes etapas desta fase académica, que contribuíram para o meu desenvolvimento científico permitindo o meu progresso em diversas vertentes.

Aos elementos externos da CAT, Doutor José Domingos Cochicho Ramalho e Doutora Fernanda Simões de Matos, pela dedicação e pelo acompanhamento das atividades do projeto, assim como pela disposição em auxiliar-me nas demais questões e dificuldades relacionadas e por todos os ensinamentos e orientações providenciadas no decorrer do mesmo.

Agradeço à NOVA *School of Science and Technology*, da Universidade Nova de Lisboa, e a todo o corpo docente do Programa Doutoral em Tecnologias Agroindustriais. Estendo os meus agradecimentos ao GeoBioTec (Pólo FCT-Nova), e corpo docente do Departamento de Ciências da Terra (UNL), pela disponibilidade das instalações e pelo ambiente acolhedor proporcionado, tornando o meu percurso académico melhor.

Aos professores do Departamento de Ciências da Terra (UNL), Professora Maria da Graça Brito, Professor Paulo Alexandre Rodrigues Roque Legoinha, Professora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro, Professor Fernando Henrique Reboredo, Professor José Carlos Ribeiro Kullberg, Professor António Carlos Gil Augusto Galhano e Professora Maria Fernanda Pessoa que integraram este projeto e colaboraram nas demais fases, auxiliando, orientando e disponibilizando o seu tempo para tornar este projeto mais enriquecedor nas variadas vertentes que o compõem.

Ao Professor Mauro António Moreira Guerra e à Doutora Roberta Gama Leitão, do departamento de Física da NOVA School of Science and Technology, pelo apoio e disponibilização do laboratório LI-BPhys, pelas análises de localização tecidual e doseamento de elementos minerais e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Engenheiro Luís Miguel Nunes de Oliveira da Silva e aos demais colaboradores da Adegas Cooperativas de Palmela que auxiliaram para a concretização deste projeto, por todo o interesse demonstrado neste e conseguinte disponibilização dos campos experimentais, e respetivo acompanhamento, e desenvolvimento das atividades de campo. Agradeço à Casa Agrícola Nunes Oliveira da Silva Lda, José Manuel Iria Coutinho e Ana Luísa Nunes Oliveira da Silva.

Ao Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), pela disponibilização das instalações e parceria na realização de atividades experimentais e em especial, à equipa do Laboratório de Fisiologia Vegetal e Laboratório de Análise Sensorial da Unidade de Tecnologia e Inovação (UTI).

Ao Instituto Superior de Agronomia (ISA), em especial à equipa do Centro de Estudos Florestais (CEF), pelo acompanhamento das atividades de campo no âmbito da fisiologia.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia, pelo financiamento da Bolsa de Doutoramento com a referência 2023.01847.BDANA. Ao apoio financeiro do projeto inserido em iniciativa comunitária (PDR2020-101-030727, Parceria nº 74 / Iniciativa nº 144), promovido pelo PDR2020 e co-financiada pelo FEADER, no âmbito do Portugal 2020.

Aos meus colegas de doutoramento e laboratório pelo convívio, troca de conhecimento e ajuda.

Às minhas amigas que estiveram presentes quase diariamente neste processo, e que guardarei uma enorme consideração, e espero estarem sempre presentes para ver o meu progresso, e eu o delas. Obrigada por tornarem este percurso mais animado e cativador.

À minha família, e com um agradecimento especial à minha mãe e irmã, serei eternamente grata por todo o apoio demonstrado ao longo da minha vida académica. Por sempre me incentivarem a lutar pelo que queria e fazer o que gostava, dando força, sendo sempre otimistas e alegrando-me quando precisava.

Ao meu namorado, um agradecimento especial pelo acompanhamento desde o início deste meu percurso académico, pela companhia, motivação, apoio e pelos longos “*brainstormings*”, em que também me ajudava e me incentivava a querer saber mais e a esforçar-me sempre.

A todos aqueles que direta ou indiretamente ajudaram na realização deste trabalho, quero deixar o meu sincero agradecimento.

“The future belongs to those who believe in the beauty of their dreams.”

Eleanor Roosevelt

RESUMO

O zinco (Zn) é um mineral essencial para diversos processos fisiológicos do organismo, estando presente em diversas enzimas, e nos seis tipos de classes existentes, com ação catabólica, reguladora e estrutural. O déficit em Zn, pode levar a diversos problemas de saúde humana, nomeadamente a inibição do crescimento e desenvolvimento, disfunções cognitivas e sistema imunitário fragilizado. Consequentemente, a biofortificação agronómica tem surgido como uma alternativa para mitigar este déficit nas culturas alimentares, incrementando o teor do elemento mineral pretendido nas partes edíveis das plantas. O vinho é amplamente consumido mundialmente, tendo um papel relevante na economia portuguesa, ocupando, em 2020, a 11^a posição no consumo mundial de vinho. A nível económico, as exportações de vinhos, em 2020, contribuíram com 856,2 milhões de euros, correspondentes a cerca de 1,6% do total das exportações nacionais. Neste enquadramento, este estudo tem como principal objetivo a conceção e implementação de um itinerário técnico de biofortificação agronómica em Zn de uva, com o intuito de proceder à vinificação, desenvolvendo-se assim um novo produto para introdução no mercado nacional e internacional. O ensaio experimental foi realizado em três anos consecutivos em *Vitis vinifera* L. (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires), em campos localizados na região de Palmela (Portugal), nas quais foram aplicadas três a quatro pulverizações foliares de ZnO ou ZnSO₄ ao longo do ciclo produtivo (após a floração), com concentrações entre 150 a 1350 g.ha⁻¹. Em complementaridade com a quantificação de Zn, foi efetuada a monitorização de fatores edafoclimáticos, ecofisiológicos e de qualidade, que possam ter implicações no vinho. Visando a otimização do ensaio experimental, no último ano, o itinerário consistiu em quatro pulverizações foliares de ZnSO₄ ou ZnO (em fileiras distintas) na concentração de 1350 g.ha⁻¹. Esta escolha foi impulsionada pelos resultados semelhantes com ambos os fertilizantes (nos anos precedentes) e, maioritariamente, com uma eficiência superior com a concentração mais alta, sem evidenciar efeitos adversos na produção de fotoassimilados e, consequentemente, no vigor das plantas. Neste âmbito, obtiveram-se incrementos na uva e no vinho, maioritariamente entre 1,1 e 4,3 vezes, relativamente aos teores controlo, verificando-se a existência de variabilidade entre a eficiência de ambos os fertilizantes de Zn na mesma casta e entre castas. Tal, evidenciou a influência da variabilidade natural das videiras, dos fatores edafoclimáticos de cada ano e da técnica experimental

adotada. Ademais, observou-se a nível tecidual uma distribuição heterogénea do Zn na uva, acumulando-se maioritariamente na grainha face à película. A par do aumento de Zn, prevaleceu a ausência de interações antagónicas em diversos elementos minerais, *i.e.*, Ca, K, Fe, S e P (sendo inclusivamente observadas relações sinérgicas). Considerando os parâmetros de qualidade (peso seco, cor, teor de sólidos solúveis totais, açúcares solúveis e ácidos gordos), admite-se que embora existam ligeiras variações, estas não sugerem um impacto negativo, realçando-se os teores de sólidos solúveis totais, que indicam uma tendência de aumento nas amostras biofortificadas em Zn, podendo ser vantajoso para a vinificação. Por outro lado, no que concerne às características reológicas e sensoriais, importa referir que a biofortificação em Zn demonstrou efeitos positivos nalgumas características sensoriais da uva e do vinho, aspeto que eventualmente poderá até favorecer a aceitabilidade pelo consumidor. Assim, o itinerário técnico proposto, sugere que a biofortificação em Zn poderá constituir uma técnica relevante para incremento do teor em Zn na uva e no vinho, com ambos os fertilizantes (ZnO e ZnSO₄), obtendo-se um produto com valor acrescentado, e com potencialidades funcionais, para a introdução no mercado nacional e internacional.

Palavras chave: Biofortificação agronómica; Vinificação; *Vitis vinifera* L; Zinco; ZnO e ZnSO₄.

ABSTRACT

Zinc (Zn) is an essential mineral for various physiological processes in the body it can be found in several enzymes and in the six existing classes, with catabolic, regulatory and structural actions. Zn deficiency can lead to various human health problems, such as inhibiting growth and development, cognitive dysfunction and weakening of the immune system. As a result, agronomic biofortification has emerged as an alternative to mitigate this deficit in food crops by increasing the content of the desired mineral element in the edible parts of plants. Wine is widely consumed worldwide and plays an important role in the Portuguese economy, ranking 11th in world wine consumption in 2020. Economically, wine exports in 2020 contributed 856.2 million euros, corresponding to around 1.6 % of total national exports. In this context, the main objective of this study is to design and implement a technical route for the agronomic biofortification of grapes with Zn, with the aim of making wine, thus developing a new product to introduce into the national and international markets. The experimental trial was carried out over three consecutive years on *Vitis vinifera* L. (Syrah, Castelão, Moscatel and Fernão Pires), in fields located in the Palmela region (Portugal), in which three to four foliar sprays of ZnO or ZnSO₄ were applied throughout the production cycle (after flowering), at concentrations between 150 and 1350 g.ha⁻¹. In addition to quantifying Zn, edaphoclimatic, ecophysiological and quality factors that may have implications for the wine were monitored. In order to optimize the experimental trial, in the last year the procedure consisted of four foliar sprays of ZnSO₄ or ZnO (in different rows) at a concentration of 1350 g.ha⁻¹. This choice was prompted by the similar results with both fertilizers (in the previous years) and, for the most part, with a superior efficiency at the highest concentration, without showing adverse effects on the production of photoassimilates and, consequently, on the vigor of the plants. In this regard, increases in grapes and wine were obtained, mostly between 1.1 and 4.3 times, compared to the control levels, and there was variability between the efficiency of both Zn fertilizers in the same grape variety and between grape varieties. This showed the influence of the natural diversity of the vines, the edaphoclimatic factors of each year and the experimental technique adopted. In addition, a heterogeneous distribution of Zn in the grapes was observed at tissue level, accumulating mostly in the seeds compared to the skin. Along with the increase in Zn, the absence of antagonistic interactions prevailed for various mineral elements, *i.e.* Ca, K, Fe, S and P (synergistic relationships were even observed). Considering the quality parameters (dry weight, color, total soluble solids content, soluble sugars and fatty acids), it can be assumed that although there are slight variations, these do not suggest

a negative impact, with emphasis on the total soluble solids content, which indicates an upward trend in the samples biofortified with Zn, which could be advantageous for winemaking. On the other hand, with regard to rheological and sensory characteristics, it should be noted that Zn biofortification has shown positive effects on some sensory characteristics of grapes and wine, which may even favor consumer acceptability. Thus, the proposed technical route suggests that Zn biofortification could be a relevant technique for increasing the Zn content in grapes and wine, with both fertilizers (ZnO and ZnSO₄), obtaining a product with added value and functional potential for introduction into the national and international markets.

Keywords: Agronomic biofortification; Winemaking; *Vitis vinifera* L; Zinc; ZnO and ZnSO₄.

ÍNDICE

| | | |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | Introdução e Objetivo | 1 |
| 1.2 | Revisão Bibliográfica..... | 3 |
| 1.2.1 | Vitivinicultura..... | 3 |
| 1.2.2 | Zinco..... | 13 |
| 1.2.3 | Biofortificação Agronómica em Zinco– Contextualização | 17 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 21 |
| 2.1 | Campos Experimentais | 21 |
| 2.1.1 | Localização..... | 21 |
| 2.1.2 | Caracterização Geológica e Geomorfológica | 22 |
| 2.2 | Itinerário técnico | 24 |
| 2.2.1 | Adubação e Fitossanidade das Vinhas em Estudo..... | 25 |
| 2.3 | Condições Meteorológicas do Ensaio Experimental..... | 25 |
| 2.4 | Amostragem..... | 26 |
| 2.4.1 | Solos e Água de Irrigação..... | 26 |
| 2.4.2 | Folhas e Frutos..... | 26 |
| 2.5 | Qualidade da Água de Irrigação..... | 27 |
| 2.5.1 | pH e Condutividade Elétrica..... | 27 |
| 2.5.2 | Titulação do Ião Bicarbonato (HCO_3^-) | 27 |
| 2.5.3 | Fotometria..... | 27 |
| 2.5.4 | Cromatografia Iónica..... | 27 |
| 2.6 | Caracterização e Monitorização das Vinhas | 28 |
| 2.6.1 | Caracterização dos Solos dos Campos Experimentais - pH, Condutividade Elétrica, Matéria-orgânica e Humidade | 28 |
| 2.6.2 | Deteção Remota..... | 28 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6.3 | Acompanhamento Ecofisiológico..... | 32 |
| 2.6.4 | Parâmetros Físicos e Químicos..... | 34 |
| 2.6.5 | Quantificação e Localização Tecidual de Elementos minerais | 35 |
| 2.7 | Análises Nutricionais | 36 |
| 2.7.1 | Açúcares Solúveis..... | 36 |
| 2.7.2 | Ácidos Gordos | 37 |
| 2.8 | Análises de Textura..... | 38 |
| 2.9 | Análises Sensoriais | 39 |
| 2.10 | Vinho Produzido com as Uvas Biofortificadas em Zn..... | 40 |
| 2.10.1 | Determinação da Acidez Volátil, Acidez Total e pH..... | 40 |
| 2.10.2 | Determinação do Dióxido de Enxofre Livre e Total | 41 |
| 2.10.3 | Determinação de Elementos Minerais..... | 41 |
| 2.10.4 | Análise Sensorial..... | 41 |
| 2.11 | Tratamento Estatístico | 42 |
| 3 | RESULTADOS..... | 43 |
| 3.1 | Primeiro Ano de Ensaio | 43 |
| 3.1.1 | Solo e Água de Irrigação | 43 |
| 3.1.2 | Condicionantes Meteorológicas e Fitossanidade..... | 48 |
| 3.1.3 | Parâmetros Fotossintéticos – Trocas Gasosas Foliaves e Parâmetros de Clorofila <i>a</i> | 50 |
| 3.1.4 | Quantificação e Localização Tecidual de Elementos Minerais nas Folhas e Frutos..... | 62 |
| 3.1.5 | Parâmetros de Qualidade da Uva..... | 87 |
| 3.1.6 | Microvinificação..... | 101 |
| 3.2 | Segundo Ano de Ensaio | 106 |
| 3.2.1 | Morfologia do Terreno | 106 |
| 3.2.2 | Água de Irrigação | 111 |
| 3.2.3 | Condicionantes Meteorológicas e Fitossanidade..... | 112 |
| 3.2.4 | Parâmetros Fotossintéticos – Trocas Gasosas Foliaves e Parâmetros de Clorofila <i>a</i> | 115 |
| 3.2.5 | NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada | 128 |
| 3.2.6 | Quantificação de Elementos Minerais nas Folhas e Frutos | 129 |
| 3.2.7 | Parâmetros de Qualidade da Uva..... | 137 |
| 3.3 | Terceiro Ano de Ensaio | 146 |
| 3.3.1 | Morfologia do Terreno | 146 |
| 3.3.2 | Água de Irrigação | 147 |
| 3.3.3 | Condicionantes Meteorológicas e Fitossanidade..... | 149 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.4 | Parâmetros Fotossintéticos – Trocas Gasosas Foliaves e Parâmetros de Clorofila <i>a</i> | 154 |
| 3.3.5 | NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada | 163 |
| 3.3.6 | Quantificação de Elementos Minerais nas Folhas e Frutos | 165 |
| 3.3.7 | Parâmetros de Qualidade da Uva..... | 172 |
| 3.3.8 | Microvinificação..... | 181 |
| 4 | DISCUSSÃO | 191 |
| 4.1 | Caracterização das Condições Edafoclimáticas dos Campos Experimentais | 191 |
| 4.2 | Monitorização das Vinhas..... | 195 |
| 4.2.1 | Trocas Gasosas Foliaves | 196 |
| 4.2.2 | Parâmetros de Clorofila <i>a</i> | 197 |
| 4.2.3 | NDVI | 199 |
| 4.3 | Quantificação e Localização Tecidual de Elementos Minerais | 201 |
| 4.3.1 | Zinco nas Folhas, Frutos e Vinho | 202 |
| 4.3.2 | Outros Elementos Minerais nas Folhas, Frutos e Vinho | 207 |
| 4.4 | Peso fresco, Peso seco e Teor de humidade..... | 219 |
| 4.5 | Parâmetros Colorimétricos..... | 219 |
| 4.6 | Parâmetros Nutricionais..... | 222 |
| 4.6.1 | Açúcares Solúveis..... | 222 |
| 4.6.2 | Ácidos Gordos | 223 |
| 4.7 | Textura e Análise Sensorial dos Frutos..... | 224 |
| 4.8 | Análises de Qualidade do Vinho..... | 227 |
| 5 | CONCLUSÃO | 230 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 - Estrutura de bago de uva cortado longitudinalmente e as três partes principais que o constituem, assim como as respetivas proporções relativas (Bondada e Keller, 2012; Borghezian, 2017; Spinei e Oroian, 2021). Adaptado de Martin et al. (2020). | 4 |
| Figura 1.2 - Ciclo de produção da uva. Adaptado de Magalhães (2008). | 4 |
| Figura 1.3 - Evolução do peso do bago / concentração de hormonas de crescimento e as alterações físico-químicas durante a formação do bago de uva. Adaptado de Dias (2006). | 6 |
| Figura 1.4 - Influência da temperatura nas diferentes fases de crescimento da videira. Adaptado de Maia (2013). | 6 |
| Figura 1.5 - Composição (g.100 g ⁻¹ de porção edível) da média de 5 castas de uva branca. Adaptado de PortFIR (2024). | 7 |
| Figura 1.6 - Composição (g.100 g ⁻¹ de porção edível) da média de 5 castas de uva tinta. Adaptado de PortFIR (2024). | 7 |
| Figura 1.7 – Processo de vinificação do vinho branco e tinto (etapas principais). | 10 |
| Figura 1.8 - Proporção das finalidades das uvas produzidas em diversos países. Fonte: Dias (2023). 10 | |
| Figura 1.9 - Percentagem da superfície vitícola da UE em 2020 e os respetivos países com as maiores contribuições. Adaptado de Eurostat (2020). | 11 |
| Figura 1.10 - Os 10 principais mercados de exportação de vinho em Portugal, valor ganho em milhões de euros. Adaptado de Viniportugal (2022). | 13 |
| Figura 1.11 - Biofortificação agronómica em zinco efetuada a nível foliar na videira. | 19 |
| Figura 2.1 - Localização dos quatro campos experimentais destinados à produção de uva biofortificadas em Zn (Biscaia, Lau Velho, Lau Novo e Lagameças). (Imagem adaptada de <i>Google Earth</i> e com recurso ao <i>ArcGis PRO</i> v.2.8). | 22 |
| Figura 2.2 - (A) e (B) Localização dos campos experimentais na carta geológica, folha 35-C de Santo Isidro de Pegões da carta Geológica de Portugal à escala 1/50.000 (1966), (B) em vista oblíqua de enquadramento, através do <i>Google Earth</i> , (C) Legenda da carta geológica referida e (D) a sua revisão na carta da AML (2006). Fonte: <i>Google Earth</i> e Serviços Geológicos de Portugal, LNEG (1966). | 23 |
| Figura 2.3 - Exemplo da geometria dos voos e os parâmetros básicos (A) e avançados (B) de voo, dos campos: Biscaia (A1 e B1); Lau Velho (A2 e B2); Lau Novo (A3 e B3) e Lagameças (A4 e B4). | 30 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.4 - Exemplo de um cromatograma com identificação dos tempos de saída da sacarose (8 minutos), glucose (10 minutos) e frutose (11 minutos), respetivamente..... | 37 |
| Figura 2.5 - Texturograma tipo para determinação da dureza (força máxima do gráfico), do trabalho de penetração (área positiva do gráfico) e da firmeza da polpa (força média entre as ancoras 1 e 2), que corresponda à resistência da polpa. | 39 |
| Figura 2.6 - Exemplo do aspeto geral na sala de provas sensoriais. | 39 |
| Figura 3.1 - Pontos de amostragem dos solos nos quatro campos em estudo. A – Campo Biscaia (casta Syrah); B – Campo Lagameças (casta. Castelão); C – Campo Lau Novo (casta Moscatel); D – Campo Lau Velho (casta Fernão Pires). | 43 |
| Figura 3.2 - Valores médios (mg.kg^{-1}) e erro padrão de elementos minerais constituintes do solo (Zn, S, Cu e Mn) dos quatro campos experimentais (não considerando os <i>outliers</i>)..... | 45 |
| Figura 3.3 - Valores médios (%) e erro padrão de elementos minerais constituintes do solo (K, Fe, Ca e P) dos quatro campos experimentais (não considerando os <i>outliers</i>)..... | 46 |
| Figura 3.4 - Projeção da composição da água em termos dos iões dominantes da água de irrigação do campo experimental Lau Novo (casta Moscatel), do primeiro ano de ensaio experimental. A- Diagrama de Piper e B- Diagrama de Wilcox..... | 47 |
| Figura 3.5 - Temperatura, humidade e precipitação acumulada na região dos campos experimentais ao longo do primeiro ano de ensaio. A- Temperatura máxima (azul) e mínima (laranja) diária; B- Humidade máxima (azul) e mínima (laranja) diária; C- Precipitação acumulada diária. O período discriminado a verde corresponde aos dias de pulverização foliar dos quatro campos experimentais..... | 48 |
| Figura 3.6 - Fotografias de aspetos visuais observados das quatro castas nos diferentes campos experimentais na primeira recolha, realizada no primeiro ano de ensaio experimental (12 de julho), após a 2ª pulverização. A1–A3 -(Campo Biscaia, casta Syrah); B1–B3 (Campo Lagameças, casta Castelão); C1–C3 (Campo Lau Novo, casta Moscatel); D1–D3 (Campo Lau Velho, casta Fernão Pires). | 49 |
| Figura 3.7 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas ($n=3$) da casta Syrah e obtidas à colheita, a 7 de setembro do primeiro ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g. ha^{-1} e (B) ZnSO ₄ - 900 g. ha^{-1} | 78 |
| Figura 3.8 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas ($n=3$) da casta Syrah e obtidas à colheita, a 7 de setembro do primeiro ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g. ha^{-1} e (B) ZnSO ₄ - 900 g. ha^{-1} | 78 |
| Figura 3.9 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas ($n=3$) da casta Fernão Pires e obtidas à colheita, a 7 de setembro do primeiro ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g. ha^{-1} e (B) ZnSO ₄ - 900 g. ha^{-1} | 79 |
| Figura 3.10 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas ($n=3$) da casta Moscatel e obtidas à colheita, a 7 de setembro do 1º ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g. ha^{-1} e (B) ZnSO ₄ - 900 g. ha^{-1} | 79 |
| Figura 3.11 - Identificação de duas regiões a película (A) e grainhas (B) de frutos à colheita (considerando o peso seco como referencial) de <i>Vitis vinifera</i> casta Syrah (campo da Biscaia), Castelão (campo do Lagameças), Moscatel (campo do Lau Novo) e Fernão Pires (campo do Lau Velho), de forma a visualizar a nível tecidual o Zn, usando como referencial o K, como elemento que se mantém relativamente uniformemente distribuído nos tecidos da uva. | 80 |

Figura 3.12 - Valores médios e erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas tintas Syrah (A) e Castelão (B), a 12 de julho, após a 2ª pulverização foliar, a 27 de julho, após a 3ª pulverização foliar e à colheita (6 de outubro e 24 de setembro para a casta Syrah e Castelão, respetivamente). As letras a - e indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 91

Figura 3.13 - Valores médios e erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas brancas Moscatel (A) e Fernão Pires (B), a 12 de julho após a 2ª pulverização foliar, a 27 de julho, após a 3ª pulverização foliar e à colheita (25 e 17 de setembro para a casta Moscatel e Fernão Pires, respetivamente). As letras a - e indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). . 93

Figura 3.14 - Valores médios da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, na película dos frutos à colheita da casta *Vitis vinifera*, no primeiro ano de ensaio experimental. (A) Casta Syrah; (B) Casta Castelão; (C) Casta Moscatel; (D) Casta Fernão Pires. Os valores e respetivo processamento estatístico encontra-se no **Anexo A.3**. 94

Figura 3.15 - Valores médios (n = 3) dos açúcares solúveis sacarose, glucose e frutose de frutos de *Vitis vinifera* L. à colheita, das castas Fernão Pires (17 de setembro), Moscatel (25 de setembro), Castelão (24 de setembro) e Syrah (6 de outubro), provenientes de Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia respetivamente. O erro padrão foi inferior a 3%. A - Sacarose; B - Glucose; C - Frutose; D - Açúcares totais solúveis. 96

Figura 3.16 - Valores médios dos parâmetros (aparência, cor, textura, aroma e apreciação global), referentes à prova sensorial dos frutos controlo e sujeitos a biofortificação com Zn da casta Syrah (campo da Biscaia), na concentração mais elevada ($900 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$), para cada um dos tipos de tratamento (ZnO e ZnSO_4), no primeiro ano de ensaio experimental. 100

Figura 3.17 - Valores médios dos parâmetros (aparência, cor, textura, aroma e apreciação global), referentes à prova sensorial dos frutos controlo e sujeitos a biofortificação com Zn da casta Fernão Pires (campo do Lau Velho), na concentração mais elevada ($900 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$), para cada um dos tipos de tratamento (ZnO e ZnSO_4), no primeiro ano de ensaio experimental. 100

Figura 3.18 - Resultados da análise sensorial da casta Syrah. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato. 102

Figura 3.19 - Resultados da análise sensorial da casta Castelão. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato. 103

Figura 3.20 - Resultados da análise sensorial da casta Moscatel. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato. 104

Figura 3.21 - Resultados da análise sensorial da casta Fernão Pires. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato. 105

Figura 3.22 – Avaliação sensorial global dos vinhos monocastas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires. 106

Figura 3.23 - Ortofotomapas com a localização dos quatro campos experimentais no primeiro e segundo ano de ensaio experimental. **A**- Campo da Biscaia (casta Syrah); **B**- Campo do Lagameças (casta Castelão); **C**- Campo do Lau Novo (casta Moscatel); **D**- Campo do Lau Velho (casta Fernão Pires). 107

Figura 3.24 - Ortofotomapas com a localização dos quatro campos no segundo ano de ensaio e respectivas linhas em estudo. **A**- Campo da Biscaia (casta Syrah), com as linhas: 6- controlo, 7- ZnO – 900 g.ha⁻¹, 8- ZnO – 1350 g.ha⁻¹, 9- ZnSO₄ – 900 g.ha⁻¹, 10- ZnSO₄ – 1350 g.ha⁻¹; **B**- Campo do Lagameças (casta Castelão), com as linhas: 20- controlo, 19- ZnO – 900 g.ha⁻¹, 18- ZnO – 1350 g.ha⁻¹, 17- ZnSO₄ – 900 g.ha⁻¹, 16- ZnSO₄ – 1350 g.ha⁻¹; **C**- Campo do Lau Novo (casta Moscatel), com as linhas: 1- controlo, 2- ZnSO₄ – 900 g.ha⁻¹, 3- ZnSO₄ – 1350 g.ha⁻¹, 4- ZnO – 900 g.ha⁻¹, 5- ZnO – 1350 g.ha⁻¹; **D**- Campo do Lau Velho (casta Fernão Pires), com as linhas: 11- controlo, 12- ZnO – 900 g.ha⁻¹, 13- ZnO – 1350 g.ha⁻¹, 14- ZnSO₄ – 900 g.ha⁻¹, 15- ZnSO₄ – 1350 g.ha⁻¹. 108

Figura 3.25 - Rede de drenagem superficial e modelo de altimetria dos quatro campos. **A**- Campo Biscaia (casta Syrah); **B**- Campo Lagameças (casta Castelão); **C**- Campo Lau Novo (casta Moscatel); **D**- Campo Lau Velho (casta Fernão Pires). 109

Figura 3.26 - Áreas com aptidão para a infiltração em função da drenagem de águas superficiais dos quatro campos experimentais. **A**- Campo Biscaia (casta Syrah); **B**- Campo Lagameças (casta Castelão); **C**- Campo Lau Novo (casta Moscatel); **D**- Campo Lau Velho (casta Fernão Pires). 110

Figura 3.27 - Projeção da composição da água em termos dos iões dominantes da água de irrigação do campo Lau Novo (casta Moscatel) e Biscaia (casta Syrah) no segundo ano de ensaio experimental (20 de maio). Diagrama de Piper (A) e Diagrama de Wilcox (B) obtidos com o *Golden software*. 112

Figura 3.28 - Temperatura, humidade e precipitação acumulada na região dos campos experimentais ao longo do segundo ano de ensaio experimental. (A) Temperatura máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (B) Humidade máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (C) Precipitação acumulada diária. O período discriminado a verde corresponde aos dias de pulverização foliar dos quatro campos experimentais. 113

Figura 3.29 - Visualização de alguns aspetos do ciclo produtivo das vinhas dos campos experimentais da A – Biscaia (casta Syrah); B – Lagameças (casta Castelão); C – Lau Novo (casta Moscatel) e D – Lau Velho (casta Fernão Pires) a 20 de Maio do segundo ano de ensaio experimental. 114

Figura 3.30 - Visualização de frutos e folhas de *Vitis vinifera* provenientes dos campos experimentais da Biscaia (casta Syrah) (A1 – Controlo; A2 – Biofortificação); Lagameças (casta Castelão) (B1 – Controlo; B2 - Biofortificação); Lau Novo (casta Moscatel) (C1 – Controlo; C2 – Biofortificação); e Lau Velho (casta Fernão Pires) (D1 – Controlo; D2 – Biofortificação) a 24 de julho do segundo ano de ensaio experimental. 114

Figura 3.31 - Visualização de frutos de *Vitis vinifera* provenientes dos campos experimentais da Biscaia (casta Syrah) (A1 – Controlo; A2 – Biofortificação); Lagameças (casta Castelão) (B1 – Controlo; B2 - Biofortificação); Lau Novo (casta Moscatel) (C1 – Controlo; C2 – Biofortificação); e Lau Velho (casta Fernão Pires) (D1 – Controlo; D2 – Biofortificação) à colheita 2 e 9 de Setembro do segundo ano de ensaio experimental. 115

Figura 3.32 - Mapas de NDVI dos quatro campos experimentais no segundo ano de ensaio, após a 4ª pulverização (22 de agosto) e respectivas linhas de ensaio. **A**- Campo Biscaia (casta Syrah), com as linhas: 6- controlo, 7- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 8- ZnO - 1350 g.ha⁻¹, 9- ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, 10- ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹; **B**- Campo Lagameças (casta Castelão), com as linhas: 20- controlo, 19- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 18- ZnO - 1350 g.ha⁻¹, 17- ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, 16- ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹; **C**- Campo Lau novo (casta Moscatel), com as linhas: 1- controlo, 2- ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, 3- ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, 4- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 5- ZnO - 1350 g.ha⁻¹; **D**- Campo Lau velho (casta Fernão Pires), com as linhas: 11- controlo, 12- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 13- ZnO - 1350 g.ha⁻¹, 14- ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, 15- ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. 128

- Figura 3.33** - Valores de NDVI mínimos, máximos e médios \pm desvio padrão das vinhas dos quatro campos experimentais e respectivas linhas de ensaio, após a 4ª pulverização foliar nas diferentes castas. (A) Syrah; (B) Castelão; (C) Moscatel e (D) Fernão Pires..... 129
- Figura 3.34** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas tintas Syrah (A) e Castelão (B), a 24 de julho, após a 4ª pulverização foliar e à colheita (14 e 25 de setembro para a casta Syrah e Castelão, respetivamente). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 139
- Figura 3.35** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas brancas Moscatel (A) e Fernão Pires (B), a 24 de julho, após a 4ª pulverização foliar e à colheita (10 de setembro e 26 de agosto para a casta Moscatel e Fernão Pires, respetivamente). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 140
- Figura 3.36** - Valores médios da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm na película dos frutos à colheita da casta *Vitis vinifera* no segundo ano de ensaio. (A) Casta Syrah; (B) Casta Castelão; (C) Casta Moscatel; (D) Casta Fernão Pires. A tabela com os valores e respetivo processamento estatístico pode ser consultada no **Anexo A.3**. 141
- Figura 3.37** - Valores médios (n = 3) dos açúcares solúveis glucose, frutose e açúcares totais solúveis, de frutos de *Vitis vinifera* L. à colheita, das castas Syrah (14 de setembro), Castelão (25 de setembro), Moscatel (10 de setembro), e Fernão Pires (26 de agosto), provenientes de Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia respetivamente. O erro padrão foi inferior a 3%. A- Glucose; B- Frutose; C- Açúcares totais 143
- Figura 3.38** - Ortofotomapas com a localização dos quatro campos no terceiro ano e respetivas linhas de ensaio. **A-** Campo Biscaia (casta Syrah), linha 6- controlo, linha 8- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 10- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹; **B-** Campo Lagameças (casta Castelão), linha 20- controlo, linha 16- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹ e linha 18- ZnO – 1350 g.ha⁻¹; **C-** Campo Lau Novo (casta Moscatel), linha 1- controlo, linha 5- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 3- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹; **D-** Campo Lau Velho (casta Fernão Pires), linha 11- controlo, linha 13- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 15- ZnSO₄ – 1350 g.ha⁻¹ 147
- Figura 3.39** - Projeção da composição da água em termos dos iões dominantes da água de irrigação do campo Biscaia, no terceiro ano de ensaio (14 de setembro). Diagrama de Piper (A) e Diagrama de Wilcox (B). obtidos com o *Golden software* 149
- Figura 3.40** - Temperatura, humidade e precipitação acumulada na região dos campos experimentais ao longo do primeiro ano de ensaio. (A) Temperatura máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (B) Humidade máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (C) Precipitação acumulada diária. O período de tempo discriminado a verde corresponde aos dias de pulverização foliar dos quatro campos experimentais. 150
- Figura 3.41** - Visualização de alguns aspetos do ciclo produtivo das vinhas dos quatro campos experimentais a 26 de maio, sem nenhuma pulverização foliar dos fertilizantes de ZnO e ZnSO₄. A- Casta Syrah (campo Biscaia); B- Casta Castelão (campo Lagameças); C- Casta Moscatel (campo Lau Novo); D- Casta Fernão Pires (campo Lau Velho). 152
- Figura 3.42** - Visualização de alguns aspetos do ciclo produtivo das vinhas dos quatro campos experimentais a 26 de maio, após a 2ª pulverização foliar dos fertilizantes de ZnO e ZnSO₄. A- Casta

Syrah (campo Biscaia); B- Casta Castelão (campo Lagameças); C- Casta Moscatel (campo Lau Novo); D- Casta Fernão Pires (campo Lau Velho)..... 153

Figura 3.43 - Mapas de NDVI dos quatro campos experimentais no terceiro ano de ensaio, após a 1ª pulverização (17 de junho) e respetivas linhas de ensaio. **A-** Campo Biscaia (casta Syrah), linha 6- controlo, linha 8- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 10- ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹; **B-** Campo Lagameças (casta Castelão), linha 20- controlo, linha 18- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 16- ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹; **C-** Campo Lau Novo (casta Moscatel), linha 1- controlo, linha 5- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 3- ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹; **D-** Campo Lau Velho (casta Fernão Pires), linha 11- controlo, linha 13- ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e linha 15- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹. 163

Figura 3.44 - Valores de NDVI mínimos, máximos e médios com o desvio padrão das vinhas dos quatro campos experimentais e respetivas linhas de ensaio, após a 4ª pulverização foliar. (A) Syrah; (B) Castelão; (C) Moscatel e (D) Fernão Pires..... 164

Figura 3.45 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas tintas Syrah (A) e Castelão (B), a 8 de julho, após a 2ª pulverização foliar e à colheita (14 e 16 de setembro para a casta Syrah e Castelão, respetivamente). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05)..... 175

Figura 3.46 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas brancas Moscatel (A) e Fernão Pires (B), a 8 de julho, após a 2ª pulverização foliar e à colheita (15 de setembro e 19 de agosto para a casta Moscatel e Fernão Pires, respetivamente). A letras a indica a ausência de diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05). 176

Figura 3.47 - Valores médios da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, na película dos frutos à colheita da casta *Vitis vinifera*, no terceiro ano de ensaio experimental. (A) Casta Syrah; (B) Casta Castelão; (C) Casta Moscatel; (D) Casta Fernão Pires. A tabela com os valores e respetivo processamento estatístico encontra-se no **Anexo A.3**..... 177

Figura 3.48 - Valores médios dos açúcares glucose frutose e açúcares totais solúveis de frutos de *Vitis vinifera* L. à colheita, das castas Syrah (14 de setembro), Castelão (16 de setembro), Moscatel (15 de setembro), e Fernão Pires (19 de agosto), provenientes de Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia respetivamente. O erro padrão foi inferior a 3%. A- Glucose; B- Frutose; C- Açúcares totais. 179

Figura 3.49 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta tinta Syrah (Controlo, ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹). 185

Figura 3.50 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta tinta Castelão (Controlo, ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹). 186

Figura 3.51 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta branca Moscatel (Controlo, ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g. ha⁻¹). 187

Figura 3.52 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta branca Fernão Pires (Controlo, ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹). 188

Figura 3.53 - Avaliação sensorial global dos vinhos monocastas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires..... 189

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1.1 - Composição média em açúcares, lípidos e minerais em 100 g de uva <i>Vitis vinífera</i> . Adaptado de USDA (2018). | 8 |
| Tabela 1.2 - Produção mundial de vinho (hL), adaptado de IVV (2024). | 11 |
| Tabela 1.3 - Consumo mundial de vinho em hectolitros (hL) e em percentagem (%). Adaptado de IVV (2024). | 12 |
| Tabela 2.1 - Datas das pulverizações foliares para biofortificação em Zn, das quatro castas em estudo e respectivas datas de colheita. | 25 |
| Tabela 2.2 - Datas das recolhas de folhas e frutos, das quatro castas em estudo e respectivas datas de colheita. | 26 |
| Tabela 2.3 - Descrição das classes de declive para as superfícies de drenagem, e respetiva aptidão para a acumulação ou drenagem de águas superficiais | 31 |
| Tabela 2.4 – Datas de obtenção das imagens para cálculo do NDVI. | 32 |
| Tabela 2.5 - Datas de monitorização dos parâmetros de trocas gasosas e parâmetros de fluorescência da clorofila <i>a</i> | 32 |
| Tabela 3.1 - Valores médios ± erro padrão das características físicas e químicas dos solos dos quatro campos experimentais (Biscaia, n = 32; Lagameças, Lau Novo e Lau Velho, n = 28). As letras a - d indicam diferenças significativas para cada parâmetro entre os campos experimentais (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). | 44 |
| Tabela 3.2 - Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação do campo experimental do Lau Novo, obtidos na recolha do primeiro ano de ensaio experimental. | 47 |
| Tabela 3.3 - Valores médios ± erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e iWUE), em folhas (n = 4 – 6) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) após a 3ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO ₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicaram a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A , B)..... | 51 |
| Tabela 3.4 - Valores médios ± erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E, iWUE), em folhas (n = 4 – 6) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO ₄ , com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). | 52 |

Tabela 3.5 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E , $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 53

Tabela 3.6 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E , $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 54

Tabela 3.7 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 56

Tabela 3.8 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre amostras para cada parâmetro. Já as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 57

Tabela 3.9 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 59

Tabela 3.10 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 61

Tabela 3.11 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), em 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - f indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 62

Tabela 3.12 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), em 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 63

Tabela 3.13 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), em 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 64

- Tabela 3.14** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 65
- Tabela 3.15** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 65
- Tabela 3.16** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 66
- Tabela 3.17** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 67
- Tabela 3.18** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 67
- Tabela 3.19** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 69
- Tabela 3.20** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 69
- Tabela 3.21** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 70
- Tabela 3.22** - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 71

Tabela 3.23 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 72

Tabela 3.24 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 72

Tabela 3.25 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 73

Tabela 3.26 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 74

Tabela 3.27 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia, sujeito a irrigação), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 75

Tabela 3.28 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 75

Tabela 3.29 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo, sujeito a irrigação), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 76

Tabela 3.30 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 77

Tabela 3.31 - Teor médio (n = 3) de microelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) na película (após desidratação) das castas Castelão, Syrah, Moscatel e Fernão Pires (provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza. 82

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 3.32 - Teor médio (n = 3) de microelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) nas grainhas das quatro castas em estudo (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza. | 84 |
| Tabela 3.33 - Teor médio (n = 3) de macroelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) na película (após desidratação) das castas em estudo (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza..... | 85 |
| Tabela 3.34 - Teor médio (n = 3) de macroelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) nas grainhas das castas em estudo (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza. | 86 |
| Tabela 3.35 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de <i>Vitis vinifera</i> casta Syrah, obtidas no campo Biscaia no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). | 88 |
| Tabela 3.36 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de <i>Vitis vinifera</i> casta Castelão, obtidas no campo Lagameças no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). | 88 |
| Tabela 3.37 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de <i>Vitis vinifera</i> casta Moscatel, obtidas no campo Lau Novo no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). | 89 |
| Tabela 3.38 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de <i>Vitis vinifera</i> casta Fernão Pires, obtidas no campo Lau Velho no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). | 89 |
| Tabela 3.39 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em frutos à colheita de <i>Vitis vinifera</i> casta Syrah (campo da Biscaia), Castelão (campo do Lagameças), Moscatel (campo do Lau Novo) e Fernão Pires (Campo Lau do Velho), no primeiro ano de ensaio experimental. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). | 95 |
| Tabela 3.40 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do teor de ácidos gordos totais (AGT), perfil de ácidos gordos e grau de insaturação (DBI, <i>double bond index</i>) dos lípidos de bagos de uva nas quatro castas em estudo no primeiro ano de ensaio experimental. Ácidos gordos de cadeia inferior a C16 (< C16); Ácido palmítico (C16:0); Ácido esteárico (C18:0); Ácido oleico (C18:1); Ácido linoleico (C18:2); Ácido linolénico (C18:3). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre as amostras de cada casta (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... | 98 |

- Tabela 3.41** - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) das características físicas das uvas pertencentes a frutos à colheita de *Vitis vinifera* das castas Fernão Pires (campo Lau Velho) e Syrah (campo Biscaia), na concentração mais elevada para cada um dos tipos de tratamento (ZnO e $ZnSO_4$) no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 99
- Tabela 3.42** - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) dos teores de Zn, no vinho monocasta produzido a partir de uvas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 101
- Tabela 3.43** - Descrição das classes de declive para as superfícies de drenagem dos quatro campos experimentais. 110
- Tabela 3.44** - Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação dos campos experimentais Biscaia e Lau Novo, obtidos na recolha do segundo ano de ensaio experimental (20 de maio). 111
- Tabela 3.45** - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah), após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 116
- Tabela 3.46** - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) sujeito a irrigação após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 117
- Tabela 3.47** -Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel), sujeito a irrigação após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A , B). 118
- Tabela 3.48** -Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (cv. Fernão Pires), após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 120
- Tabela 3.49** -Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila *a* (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (cv. Syrah), após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B)..... 121
- Tabela 3.50** - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila *a* (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão), sujeito a irrigação após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 123
- Tabela 3.51** - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila *a* (F_v/F_m , F_m'/F_v' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4-6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação

após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b, c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 125

Tabela 3.52 - Valores médios ± erro padrão dos parâmetros de clorofila *a* (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data, ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 126

Tabela 3.53 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia) a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 130

Tabela 3.54 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 130

Tabela 3.55 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 131

Tabela 3.56 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 132

Tabela 3.57 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar) sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 132

Tabela 3.58 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 133

Tabela 3.59 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar) sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 134

Tabela 3.60 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), em 24 de julho

(após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 134

Tabela 3.61 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 135

Tabela 3.62 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 135

Tabela 3.63 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 136

Tabela 3.64 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 137

Tabela 3.65 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah, obtidas no campo experimental da Biscaia, no segundo ano de ensaio. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 137

Tabela 3.66 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Castelão, obtidas no campo experimental de Lagameças, no segundo ano de ensaio. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 138

Tabela 3.67 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* L. casta Moscatel, obtidas no campo experimental do Lau Novo, no segundo ano de ensaio. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 138

Tabela 3.68 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires, obtidas no campo experimental do Lau Velho, no segundo ano do ensaio. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 138

Tabela 3.69 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do teor de sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix) em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), Castelão (campo Lagameças), Moscatel (campo

Lau Novo) e Fernão Pires (Campo Lau Velho). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 142

Tabela 3.70 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do teor de ácidos gordos totais (AGT), perfil de ácidos gordos e grau de insaturação (DBI, *double bond index*) dos lípidos de bagos de uva nas quatro castas em estudo no segundo ano de ensaio. Ácidos gordos de cadeia inferior a C16 (<C16); Ácido palmítico (C16:0); Ácido esteárico (C18:0); Ácido oleico (C18:1); Ácido linoleico (C18:2); Ácido linolénico (C18:3). As letras a - c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre as amostras de cada casta (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 145

Tabela 3.71 - Resultados obtidos após realização da prova triangular em frutos de *Vitis vinífera* L. da casta Castelão (ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹), proveniente do campo Lagameças; casta Syrah (ZnO - 1350 g.ha⁻¹) proveniente do campo Biscaia e a casta Moscatel (ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹), proveniente do campo Lau Novo. Folha de prova no **Anexo A.4.** 146

Tabela 3.72 - Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação do campo experimental Biscaia, obtido na recolha do terceiro ano de ensaio (14 de setembro). 148

Tabela 3.73 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah), após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas respetivamente), com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B)..... 154

Tabela 3.74 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) sujeito a irrigação, após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 155

Tabela 3.75 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação, após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 156

Tabela 3.76 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B)..... 157

Tabela 3.77 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B, C). 158

Tabela 3.78 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) sujeito a irrigação

após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B)..... 159

Tabela 3.79 - Valores médios ± erro padrão dos parâmetros de clorofila *a* (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B)..... 160

Tabela 3.80- Valores médios ± erro padrão dos parâmetros de clorofila *a* (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B). 161

Tabela 3.81 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 8 de julho (após a 2^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 165

Tabela 3.82 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 8 de julho (após a 2^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 166

Tabela 3.83 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 8 de julho (após a 2^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 166

Tabela 3.84 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires, obtidas no Lau Velho, a 8 de julho (após a 2^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 167

Tabela 3.85 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia) a 8 de julho (após a 2^a pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 168

Tabela 3.86 - Valores médios ± erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 8 de julho (após a 2^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 168

Tabela 3.87 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 169

Tabela 3.88 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 170

Tabela 3.89 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 170

Tabela 3.90 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças) à colheita, com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 171

Tabela 3.91 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 172

Tabela 3.92 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 172

Tabela 3.93 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah, obtidas em Biscaia. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$)..... 173

Tabela 3.94 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Castelão, obtidas em Lagameças. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 173

Tabela 3.95 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Moscatel, obtidas em Lau Novo. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$)..... 173

Tabela 3.96 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires, obtidas em

Lau Velho. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 174

Tabela 3.97 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do teor de sólidos solúveis totais ($^{\circ}$ Brix), em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), Castelão (campo Lagameças), Moscatel (campo Lau Novo) e Fernão Pires (Campo Lau Velho). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 178

Tabela 3.98 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do teor de ácidos gordos totais (AGT), perfil de ácidos gordos e grau de insaturação (DBI, *double bond index*) dos lípidos de bagos de uva nas quatro castas, no terceiro ano de ensaio. Ácidos gordos de cadeia inferior a C16 (<C16); Ácido palmítico (C16:0); Ácido esteárico (C18:0); Ácido oleico (C18:1); Ácido linoleico (C18:2); Ácido linolénico (C18:3). As letras a - c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre as amostras de cada casta (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 180

Tabela 3.99 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3 - 5$) dos parâmetros de textura (*i.e.*, dureza, força de penetração e firmeza da polpa) em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 181

Tabela 3.100 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta tinta Syrah no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta e para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 182

Tabela 3.101 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta tinta Castelão no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta e para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 182

Tabela 3.102 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais em (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta branca Moscatel no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta e para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 183

Tabela 3.103 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais em (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta branca Fernão Pires no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre amostras para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$). 183

Tabela 3.104 - Análises de qualidade dos vinhos produzidos com as castas biofortificadas de *Vitis vinifera*: Fernão Pires, Moscatel, Castelão e Syrah através do sistema Foss. 184

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AG – Ácidos Gordos

AGT – Ácidos Gordos totais

ca. circa (cerca de)

C16:0 – Ácido palmítico

C18:0 – Ácido esteárico

C18:1 – Ácido oleico

C18:2 – Ácido linoleico

C18:3 – Ácido linolénico

CE – Condutividade Eléctrica

cf. – confer (confira)

CIELAB – *Comission Internationale de Éclairage*, espaço de cor L^* , a^* , b^*

DBI – Índice de Insaturação / *Double Bond Index*

E – Taxa de transpiração

EM – Espetro eletromagnético

eg. – *exempli gratia* (por exemplo)

F_o – Fluorescência basal

F_v/F_m – Eficiência fotoquímica potencial/máxima do fotossistema II (PSII)

F_v'/F_m' – Eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII) à luz

g_s – Taxa de condutância estomática

i.e., – *id est* (isto é)

ISL – Índice de Saturação de Langelier

i_{WUE} – Eficiência instantânea do uso de água

MO – Matéria Orgânica

NDVI – *Normalized Digital Vegetation Index* (Índice de vegetação da diferença normalizada)

NIR – Infravermelho próximo

pH_s – pH de saturação

P_n – Taxa da fotossíntese líquida

ps – peso seco

PSI e II – Fotossistemas I e II

q_L – Fator de amortecimento da fluorescência relacionado com o uso fotoquímico de energia, baseado no conceito de antenas interconectadas do fotossistema II (PSII)

q_N – Fator de amortecimento da fluorescência relacionado com o uso não fotoquímico (dissipação) de energia

QA – Quinona A

RE – *Red Edge*

RGB – *Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul)

ROS – Espécies Reativas de Oxigênio

SAR – Índice de Adsorção de Sódio

SWIR - Infravermelho médio

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulados

VNIR – Região do vermelho e infravermelho próximo

Y_(II) – Estimativa do rendimento quântico fotossintético do transporte não cíclico de electrões

Y_(NO) – Estimativa do rendimento quântico relacionado com dissipação não regulada de energia ao nível do fotossistema II (PSII)

Y_(NPQ) – Estimativa do rendimento quântico relacionado com dissipação regulada de energia ao nível do fotossistema II (PSII)

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e Objetivo

Atualmente, a nível mundial, as sociedades humanas deparam-se com o crescimento da população, levando a uma maior pressão no setor agrícola, para garantir a subsistência alimentar. De acordo com a FAO (2024), prevê-se que o crescimento da população ultrapasse os 9 mil milhões de pessoas até 2050, e que alcance 9,73 mil milhões em 2064. No passado, com o objetivo de maximizar a produção agrícola utilizou-se a irrigação, assim como fertilizantes e pesticidas sintéticos, o que levou em muitos casos à erosão do solo e à diminuição da sua fertilidade, a par de impactos negativos nas águas subterrâneas, lagos, rios, entre outros (Roberts e Matto, 2019). Ademais, outros fatores nomeadamente o clima, qualidade do solo e da água, crescimento da população e o processo de urbanização, tem também contribuído para a diminuição das terras aráveis, as quais constituem uma parte limitada da superfície da Terra disponível para uso agrícola (Khan et al., 2021b).

Desta forma, torna-se imperativo conferir maior sustentabilidade à agricultura e satisfazer a demanda em quantidade e qualidade dos alimentos (Miladinov, 2023). Uma agricultura sustentável pode ser alcançada através do uso de técnicas agrícolas que aumentem a produção das culturas e, ao mesmo tempo, conservem e protejam o ambiente e os recursos disponíveis (Arora, 2018). De acordo com Aziz et al. (2022), uma agricultura considerada sustentável tem como principais objetivos: um elevado rendimento de produtos agrícolas e com qualidade, o uso eficiente dos recursos ambientais, melhorar a qualidade de vida da população através da distribuição justa de alimentos, mas também proporcionar benefícios económicos aos agricultores.

Atualmente, tem sido cada vez mais considerado o conceito de “*food security*”, podendo ser definido como a disponibilidade de alimentos, em quantidade suficiente, e de qualidade adequada, para atingir um estado de bem estar nutricional, onde todas as necessidades fisiológicas são satisfeitas (Sekaran et al., 2021). Equacionando a intensificação da produção mundial de alimentos com qualidade, é

importante garantir que as culturas alimentares sejam ricas em nutrientes, pois estes influenciam a produtividade e têm implicações na saúde humana (Kihara et al., 2020).

Os elementos minerais essenciais para o crescimento e desenvolvimento das culturas alimentares são (Shukla et al., 2021; Banerjee et al., 2023): o azoto (N), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S) - necessários em grandes quantidades (macronutrientes); o cobre (Cu), o ferro (Fe), o manganês (Mn), o molibdênio (Mo), o cloro (Cl), o níquel (Ni), o boro (B) e o zinco (Zn) - necessários em menores quantidades (micronutrientes). Globalmente, mais de 2 mil milhões de pessoas são alvo da “*hidden hunger*”, correspondendo à deficiência de micronutrientes, nomeadamente em Fe, iodo e Zn (Lopes et al., 2023; Bhardwaj et al., 2024). A “*hidden hunger*” pode levar a diversos problemas nomeadamente, no crescimento e desenvolvimento cognitivo, no sistema imunológico e também ao nível cardiovascular e metabólico, aumentando o risco de morbilidade e mortalidade (Galani et al., 2022).

A nível mundial, a deficiência em Zn é uma das carências mais comuns nas sociedades humanas, estimando-se que uma em cada cinco pessoas é alvo deste problema (Mohamad et al., 2023). Além de que, cerca de 17 % da população se encontra em risco de um consumo insuficiente de Zn, com uma prevalência de 19 % e 24 % na Ásia e em África, respetivamente (Lowe et al., 2024). O Zn é um dos oligoelementos vitais do nosso corpo, sendo crucial para diversos processos fisiológicos. As suas funções são catalíticas, estruturais e reguladores, estando envolvido em mais de 300 enzimas que precisam de uma quantidade adequada no organismo humano para funcionar corretamente (Hussain et al., 2022; Sangeetha et al., 2022). As proteínas “*Zn finger*” são um dos exemplos, estando relacionadas com a expressão genética de uma variabilidade de fatores de crescimento, resposta imunitária e recetores de esteroides, através da ligação a proteínas, RNA e DNA (Hussain et al., 2022; Sangeetha et al., 2022). A deficiência em Zn pode contribuir para diversas patologias no ser humano, nomeadamente cegueira, perdas cognitivas, diminuição do nível de QI, atrasos no crescimento e mortalidade prematura durante a gravidez (Hussain et al., 2022).

Diversos estudos têm ponderado alternativas para mitigar estes défices em diferentes culturas alimentares, nomeadamente através da biofortificação agronómica (Bhardwaj et al., 2022). A biofortificação agronómica, visa incrementar o teor de um determinado elemento mineral alvo nas partes edíveis das culturas, através do uso de práticas agronómicas. Para aumentar o teor em micronutrientes, são usados fertilizantes orgânicos / inorgânicos, ou biofertilizantes, sendo aplicados à planta via foliar ou no solo (Avnee et al., 2023). Relativamente à biofortificação agronómica com Zn, tem revelado alguns resultados positivos, nomeadamente para o trigo, arroz e muitos outros cereais (Cakmak e Kutman, 2018). Desde o início do programa *International HarvestPlus* e o seu subprojeto *HarvestZinc*, tem-se

verificado um aumento do interesse em aumentar as concentrações de Zn nas partes edíveis das culturas alimentares (HarvestPlus, 2024).

A UE, que representa 45 % da superfície vitícola mundial, 65 % da produção (sendo os cinco principais países produtores de vinho, a Itália, a França, a Espanha, a Alemanha e Portugal), 60 % do consumo mundial e 70 % das exportações, definiu como objetivo deste setor, aumentar a competitividade dos produtores de vinho, para ganho de quotas de mercado (Regulamento 2020/975- EU, 2020). Em Portugal, a vinha em 2021 ocupava 192 028 ha, correspondendo à 11ª posição no *ranking* mundial, com 166 castas tintas e 152 brancas, e ocupando a 11ª posição no consumo mundial de vinho (IVV, 2024).

Neste âmbito, com este estudo pretende-se desenvolver a estratégia de biofortificação agronómica de uvas para vinificação (*Vitis vinífera* L.) em Zn, tendo como principal objetivo obter um produto alimentar diferenciado e com características funcionais. Com este intuito, pretende-se: 1) Delinear e otimizar um itinerário técnico para produção agroindustrial de uva biofortificada em Zn, destinada à produção de vinho tinto e branco; 2) Caracterizar índices de biofortificação em Zn e interações nutricionais; – quantificação da acumulação de Zn na uva e no vinho, localização tecidual do Zn na uva e relação com a mobilização de Zn (*i.e.*, espectrofluorimetria de raios-X, espectrofotometria de absorção atômica e fluorescência de dispersão de raios-X de micro-energia); 3) Monitorizar parâmetros fisiológicos da planta – procedendo-se à monitorização das trocas gasosas e parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, complementando com o uso da deteção remota ; 4) Caracterizar alterações na qualidade das uvas biofortificadas através de parâmetros físicos (densidade, peso fresco, percentagem de peso seco, textura e cor), químicos (teor de sólidos solúveis totais) e nutricionais (quantificação e caracterização de ácidos gordos e açúcares solúveis); 5) Obtenção de vinho tinto e branco enriquecido em Zn.

1.2 Revisão Bibliográfica

1.2.1 Vitivinicultura

A vinha é uma planta perene do género *Vitis*, que dá origem a frutos organizados em cachos, e com um eixo principal, e outros laterais (herbáceos), designados de engaço (Scarpare et al., 2012; Lorena e Cordeiro, 2020). De acordo com Bondada e Keller (2012), anatomicamente é possível distinguir nos bagos de uva três camadas diferentes: o exocarpo (película exterior), o mesocarpo (a polpa) e as grainhas (**Figura 1.1**). A parte exterior “a película” é de cor e espessura variável e compreende cerca de 5 - 10 % do seu peso total (**Figura 1.1**), funcionando como uma proteção da uva contra danos físicos e climáticos (Spinei e Oroian, 2021; Lorena e Cordeiro, 2020). O mesocarpo por sua vez, compõe a maior

porção da uva (**Figura 1.1**), correspondendo a cerca de 85 - 87 % do volume do bago de uva (Bondada e Keller, 2012). As grainhas estão dentro da polpa, correspondendo a menos de 6 % (**Figura 1.1**), apresentando um aspeto periforme e com dimensões e número variável, dependendo da casta (podendo cada bago de uva conter até quatro grainhas) (Borghезan, 2017; e Lorena e Cordeiro, 2020).

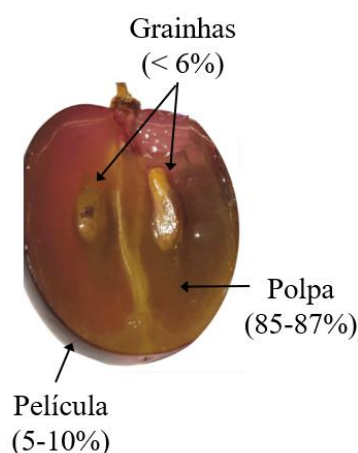


Figura 1.1 - Estrutura de bago de uva cortado longitudinalmente e as três partes principais que o constituem, assim como as respetivas proporções relativas (Bondada e Keller, 2012; Borghезan, 2017; Spinei e Oroian, 2021). Adaptado de Martin et al. (2020).

Segundo Magalhães (2008), anualmente a videira vai sofrendo alterações ao nível morfológico e fisiológico, podendo distinguir-se duas fases (**Figura 1.2**), fase ativa e a fase de repouso vegetativo, iniciando-se a primeira entre março / abril, e terminando em novembro, e a segunda nos restantes meses.

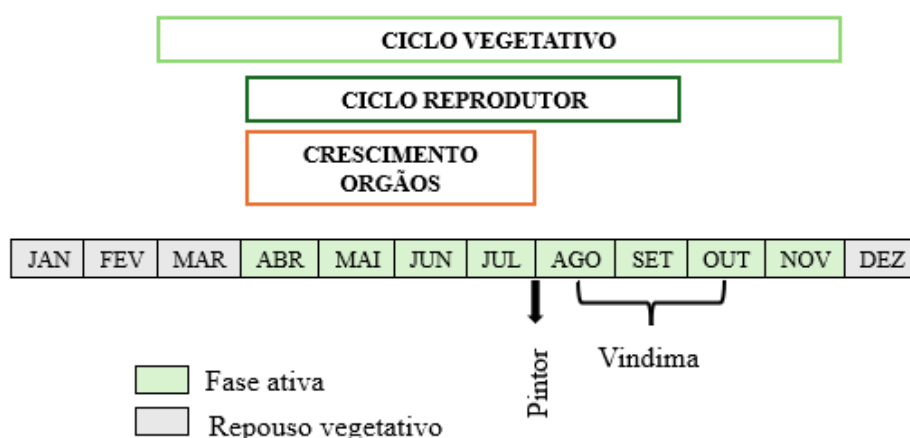


Figura 1.2 - Ciclo de produção da uva. Adaptado de Magalhães (2008).

A fase ativa compreende dois ciclos: ciclo vegetativo e o ciclo reprodutor, entre os meses de abril a novembro e abril a setembro, respetivamente (Magalhães, 2008). O ciclo vegetativo é caracterizado por um período de crescimento vegetativo (entre abril e julho), ocorrendo alterações morfológicas e

fisiológicas, e um período onde a videira mantém a sua morfologia, e as suas funções fisiológicas residuais. Este segundo período, normalmente corresponde ao fim de julho / início de agosto, onde existe um incremento de temperatura e a redução da água disponível no solo, levando a que o crescimento vegetativo cesse (Magalhães, 2015). O ciclo reprodutor (entre abril e setembro) engloba desde a iniciação floral nos gomos, floração, fecundação, crescimento dos frutos e a sua maturação (Chauvet e Reynier, 1984; Fernández, 2018).

A uva é um fruto não climatérico, ou seja, não apresenta aumentos da taxa de respiração e da produção de etileno, devendo-se proceder à colheita apenas quando as características são consideradas ideais (Valente et al., 2019). A formação e crescimento dos bagos de uva resultam, numa fase inicial, da ação de hormonas de crescimento (**Figura 1.3**), nomeadamente auxinas, citoquininas e gibberelinas, produzidas pelas grainhas e, posteriormente, estas com o aumento de ácido abscísico desaparecem (Dias, 2006). O processo de crescimento e amadurecimento da uva compreende um período de crescimento herbáceo, a fase do pintor ou “*veraison*”, e por fim a chamada maturação (Dias, 2006) (**Figura 1.3**). A fase do crescimento herbáceo tem uma duração média entre 45 a 65 dias (desde a formação do bago à fase do pintor), sendo o bago verde e com elevado grau de dureza, característico desta fase, e ocorrendo um aumento de tamanho devido à multiplicação celular (Dias, 2006; Maia, 2013) (**Figura 1.3**). A fase chamada de pintor (ou *veraison* para os viticultores) é marcada pela cessação do crescimento da videira e pela rápida pigmentação dos bagos de uva (**Figura 1.3**), porém também se observa um aumento de tamanho do bago devido à dilatação das células (Dias, 2006; Tornielli et al., 2023; Yilmaz et al., 2024). Esta fase, corresponde ao início da maturação do bago de uva após a maturação das sementes estar finalizada (**Figura 1.3**), sendo também caracterizada pela acumulação de açúcares e diminuição da acidez (Tornielli et al., 2023; Yilmaz et al., 2024). Por fim, a maturação (**Figura 1.3**) varia em média entre 35 a 55 dias e corresponde ao período entre o pintor até ao bago maduro, observando-se o aumento de volume devido ao aumento dos vacúolos celulares, a acumulação de açúcares e diminuição da acidez (Dias, 2006; Maia, 2013). Quando a maturação é alcançada, e o fruto não é colhido, passa para a fase de sobrematuração onde as trocas entre a planta e o bago cessam, ocorrendo uma concentração do conteúdo celular devido à evaporação de água (Dias, 2006).

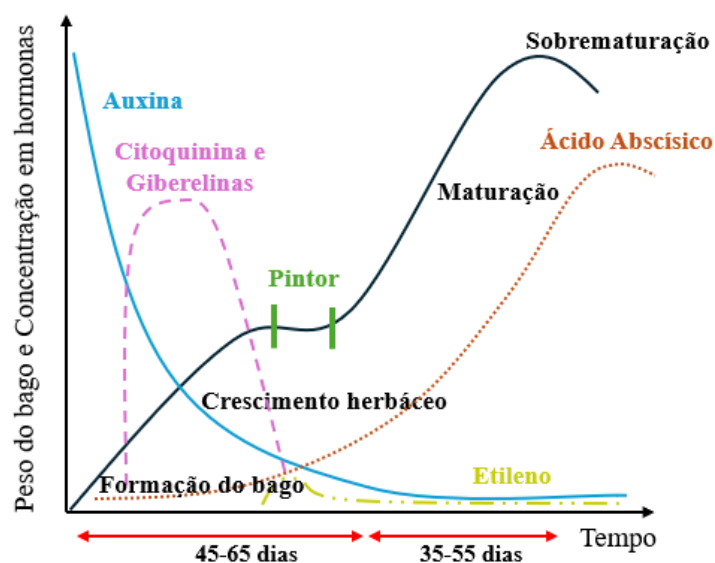


Figura 1.3 - Evolução do peso do bago / concentração de hormonas de crescimento e as alterações físico-químicas durante a formação do bago de uva. Adaptado de Dias (2006).

A fase de repouso vegetativo, ocorre no início do inverno sendo caracterizada pela queda das folhas da videira, e pela reduzida atividade metabólica, devido à diminuição da temperatura (Maia, 2013) (**Figuras 1.3, 1.4**). Ademais, a temperatura é um parâmetro determinante em todas as etapas do ciclo anual vegetativo da videira (**Figura 1.4**), sendo que o desenvolvimento ótimo da videira, idealmente ocorre a temperaturas entre os 20 - 30 °C. Saliente-se que o amadurecimento deverá ocorrer com temperaturas superiores a 10 °C e inferiores a 32 °C (Maia, 2013). A colheita do fruto, em épocas normais de vindima (dependendo das condições climáticas), pode abranger de agosto a outubro (Magalhães, 2008; e Vilela e Pinto, 2021). Este ciclo repete-se novamente com o aumento gradual de temperatura no início da primavera (**Figuras 1.3, 1.4**), verificando-se o recomeçar de atividade na videira a partir do zero vegetativo, correspondendo este a 10°C, verificando-se a absorção de quantidades superiores dos nutrientes que levam à brotação (Maia, 2013).

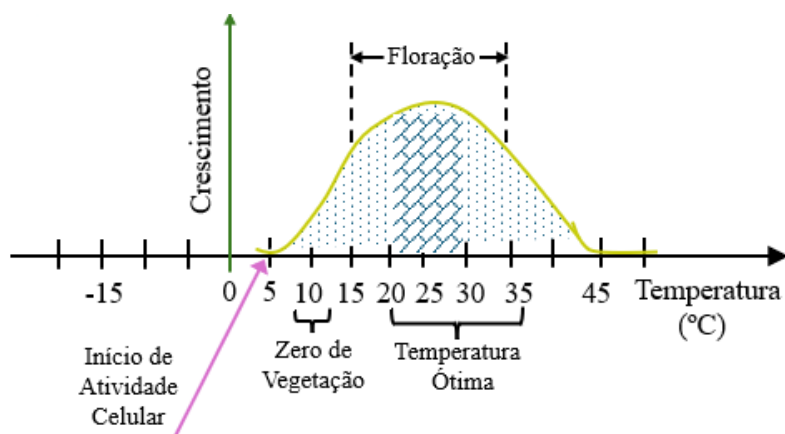


Figura 1.4 - Influência da temperatura nas diferentes fases de crescimento da videira. Adaptado de Maia (2013).

Segundo a PortFIR (2024a), a uva branca (com base em 5 castas) apresenta 86 % de parte edível (**Figura 1.5**). Em termos nutricionais nas uvas brancas (**Figura 1.5**), em 100 g de porção edível da uva encontram-se cerca de 17,3 g de glícidos, 0,5 g de lípidos, 0,8 de fibra, 0,4 de ácidos orgânicos, 0,3 g de proteína e 80,6 g de água.

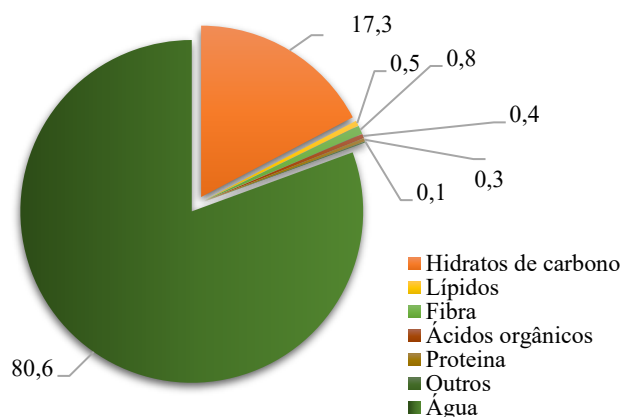


Figura 1.5 - Composição (g.100 g⁻¹ de porção edível) da média de 5 castas de uva branca. Adaptado de PortFIR (2024).

Já a PortFIR (2024b) na uva tinta (com base em 5 castas) indica 82 % de parte edível (**Figura 1.6**). A sua composição nutricional em 100 g de porção edível (**Figura 1.6**), é constituída por 18,6 g de glícidos, 0,5 g de lípidos, 0,9 g de fibra, 0,4 g de ácidos orgânicos, 0,3 g de proteína e 78,9 g de água.

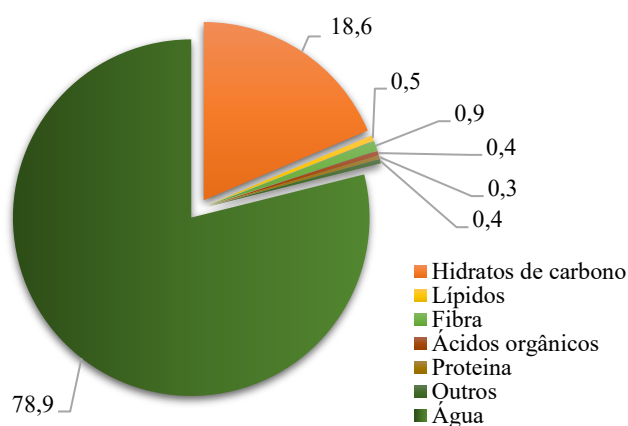


Figura 1.6 - Composição (g.100 g⁻¹ de porção edível) da média de 5 castas de uva tinta. Adaptado de PortFIR (2024).

De acordo com a USDA, *FoodData Central* (2018), 100 g de uva *Vitis vinífera* (**Tabela 1.1**) contém cerca de 0,48 g em cinzas, com 191 mg de potássio (K), 20 mg de fósforo (P), 10 mg de cálcio (Ca), 7 mg de magnésio (Mg), 2 mg de sódio (Na), 0,36 mg de ferro (Fe), 0,127 mg de cobre (Cu), 0,071 mg de manganês (Mn) e 0,07 mg de zinco (Zn) (USDA, 2018). Considerando os açúcares totais (**Tabela**

1.1), 15,5 g de açúcares em 100 g de uva correspondem a 0,15 g de sacarose, 7,2 g de glucose e 8,13 g de frutose. Nos lípidos (**Tabela 1.1**), verifica-se uma predominância de ácidos gordos saturados (0,054 g) e polinsaturados (0,048 g) face aos monoinsaturados (0,007 g) (USDA, 2018).

Tabela 1.1 - Composição média em açúcares, lípidos e minerais em 100 g de uva *Vitis vinífera*. Adaptado de USDA (2018).

| Glúcidos | |
|---------------------------------|----------|
| Açúcares | 15,5 g |
| • Sacarose | 0,15 g |
| • Glucose | 7,20 g |
| • Frutose | 8,13 g |
| Lípidos | |
| • Ácidos gordos saturados | 0,054 g |
| • Ácidos gordos monoinsaturados | 0,007 g |
| • Ácidos gordos polinsaturados | 0,048 g |
| Minerais | |
| • Cinzas | 0,48 g |
| • Potássio (K) | 191 mg |
| • Fósforo (P) | 20 mg |
| • Cálcio (Ca) | 10 mg |
| • Magnésio (Mg) | 7 mg |
| • Sódio (Na) | 2 mg |
| • Ferro (Fe) | 0,360 mg |
| • Cobre (Cu) | 0,127 mg |
| • Manganês (Mn) | 0,071 mg |
| • Zinco (Zn) | 0,070 mg |

1.2.1.1 Vinificação

Segundo o Regulamento 491/2009 (CE), na União Europeia, o vinho é legalmente definido como o produto obtido exclusivamente através da fermentação parcial ou total de uvas frescas, inteiras ou esmagadas, ou de mostos. Esta fermentação ocorre através da adição de leveduras que consomem os açúcares das uvas transformando-os em álcool. O tipo de leveduras e uvas utilizadas podem ser várias e vão determinar o vinho produzido (ASAE, 2016).

Para além da casta e método de cultivo, em conformidade com o tipo de vinho, o processo de vinificação pode variar (de Souza et al., 2022). De modo geral, a vinificação do vinho branco e tinto possui fases comuns nomeadamente, desengace, prensagem, fermentação, clarificação, filtração e por fim engarrafamento (Lidon e Silvestre, 2007). No entanto, a ordem, tempo e forma como são executadas

pode diferir. Após a colheita, a uva deve ser transportada rapidamente, de forma a evitar processos de oxidação e a degradação da mesma (Lidon e Silvestre, 2007). A operação de desengace consiste na eliminação total ou parcial das partes lenhosas (parte herbácea) dos cachos de uvas (Souza et al., 2022). A prensagem (sendo este processo mais tardio no caso do vinho tinto) serve para causar o rompimento da película das uvas de forma a obter o mosto (originando cerca de 80 % de mosto por ação da gravidade e 20 % na prensagem das massas correspondentes à porção sólida) (Lidon e Silvestre, 2007). A fermentação alcoólica é caracterizada pela transformação de glucose em etanol, através de leveduras (geralmente *Saccharomyces cerevisiae*), resultando em alterações na composição química do meio (Jones-Moore et al., 2021; Souza et al 2022).

O vinho branco é obtido pela fermentação alcoólica apenas do sumo da uva (após remoção da parte sólida), enquanto que os vinhos tintos realizam esta fermentação com o sumo da uva em contacto com as partes sólidas da uva (*e.g.*, pele, grainhas) (Tsoupras et al., 2023). Após esta fermentação, pode ocorrer uma segunda fermentação, designada fermentação maloláctica, onde o ácido málico é lentamente convertido em ácido láctico (Lidon e Silvestre, 2007).

A clarificação é realizada de forma a eliminar permanentemente a turbidez do mosto, utilizando-se no caso dos vinhos brancos, agentes clarificantes (*i.e.*, bentonite, gelatinas, albuminas e caseínas) que formam grumos que tendem a precipitar, seguindo-se uma centrifugação ou filtração para a sua remoção (Lidon e Silvestre, 2007). Já nos vinhos tintos, a clarificação realiza-se espontaneamente por sedimentação (as borras vão acumulando-se no fundo do depósito), colagem (utilizando-se bentonite, gelatina e caseína), filtração ou centrifugação (Lidon e Silvestre, 2007).

Salienta-se o uso de SO₂ que é um aditivo utilizado durante diferentes fases do processo de vinificação, de forma a proteger o vinho da ação de microrganismos, diminuir o desenvolvimento espontâneo de leveduras e bactérias, desde a fase de produção até à fase de armazenamento (aumentando a *shelf-life* do vinho) (Souza et al 2022).

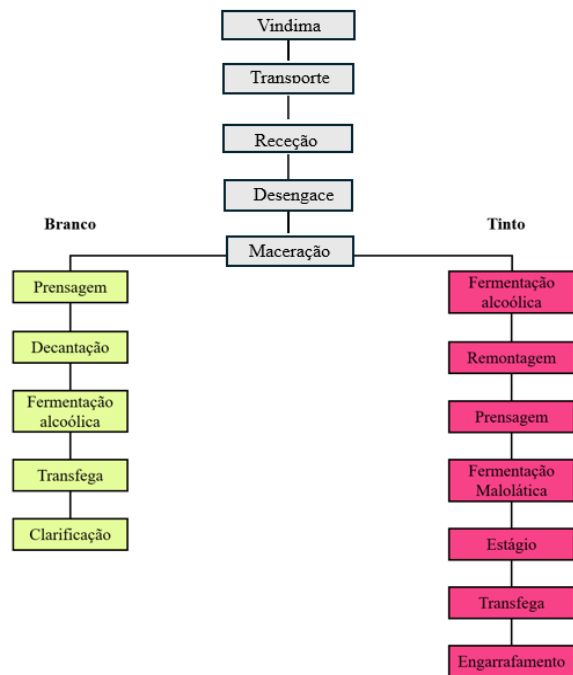


Figura 1.7 – Processo de vinificação do vinho branco e tinto (etapas principais). Adaptado de Lidon e Silvestre (2007).

1.2.1.2 Importância Socioeconómica no Mundo e em Portugal

As uvas detêm uma porção relevante da agricultura mundial (**Figura 1.8**), tendo como principal aplicação a vinificação com cerca de 50 % das uvas cultivadas (Zhou et al., 2022). A videira da espécie *Vitis vinifera* L., é a mais utilizada para a produção de vinho na Europa, encontrando-se amplamente distribuída por todo o mundo: Europa (França, Itália, Espanha), na Ásia (China) e nas Américas (Estados Unidos, Argentina, Chile) (Kupe et al., 2021; Sharafan et al., 2023).

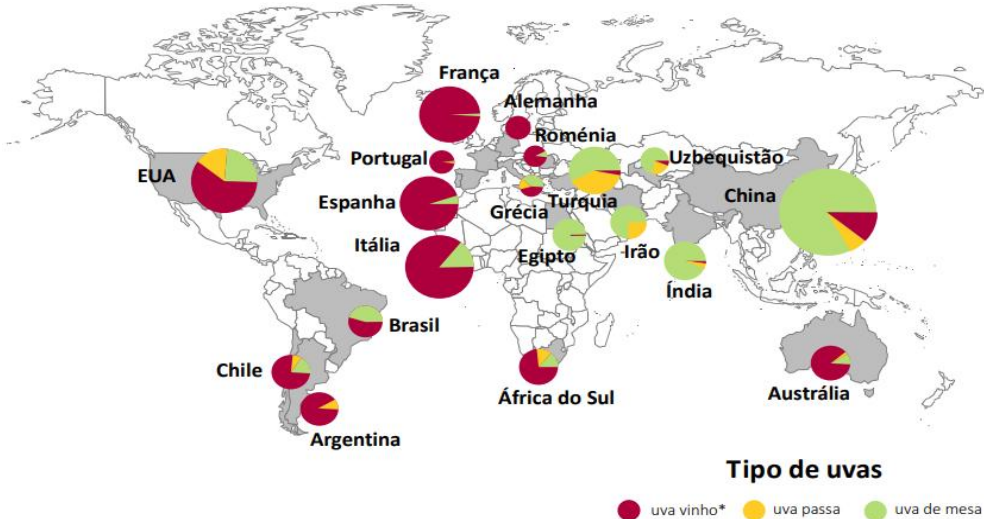


Figura 1.8 - Proporção das finalidades das uvas produzidas em diversos países. Fonte: Dias (2023).

De acordo com o Regulamento 2020/975- EU (2020), a União Europeia (UE) representa 45 % da superfície vitícola mundial e contribui com 65 % da produção mundial, 60 % do consumo mundial e 70 % das exportações para países terceiros. Em 2020, a superfície total de vinha da UE (**Figura 1.9**) era de 3,2 milhões de hectares (ha), equivalente a 2 % da superfície agrícola utilizada. Entre os países membros, a Espanha, a França e a Itália representavam em conjunto, três quartos (74,9 %) da superfície vitícola da UE (Eurostat, 2020).

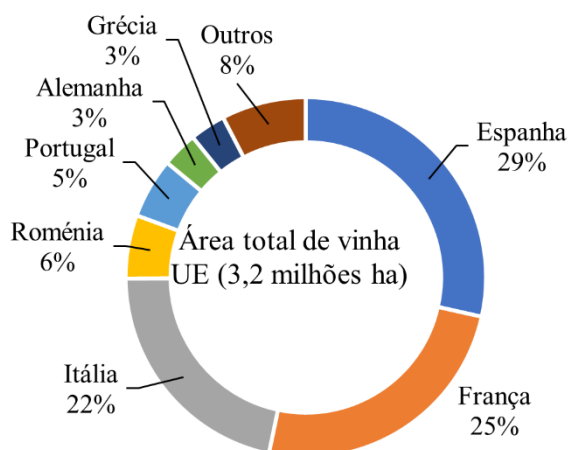


Figura 1.9 - Percentagem da superfície vitícola da UE em 2020 e os respetivos países com as maiores contribuições. Adaptado de Eurostat (2020).

Segundo dados do IVV (2024) de 2020, a nível mundial, a produção de vinho foi maior nos países correspondentes às maiores áreas de vinha, nomeadamente Itália, França e Espanha, tendo Portugal ocupado a 11ª posição com 6,4 milhões de hectolitros (hL) (**Tabela 1.2**) com 166 castas tintas e 152 brancas (IVV, 2024).

Tabela 1.2 - Produção mundial de vinho (hL), adaptado de IVV (2024).

| País | Milhões de hectolitros | % |
|-----------------|------------------------|------------|
| Itália | 49,1 | 20 |
| França | 46,7 | 19 |
| Espanha | 40,9 | 17 |
| Estados Unidos | 22,8 | 9 |
| Austrália | 10,9 | 5 |
| Argentina | 10,8 | 4 |
| África do sul | 10,4 | 4 |
| Chile | 10,3 | 4 |
| China | 6,6 | 3 |
| Alemanha | 8,4 | 3 |
| Portugal | 6,4 | 3 |
| Roménia | 3,8 | 2 |
| Brasil | 2,3 | 1 |
| Grécia | 2,3 | 1 |
| Outros | 10,5 | 4 |
| Total | 242 | 100 |

Em 2020, ao nível do consumo mundial de vinho (**Tabela 1.3**), Portugal ocupava a 11^a posição no *ranking* contribuindo com 1,9 % do consumo (IVV, 2024).

Tabela 1.3 - Consumo mundial de vinho em hectolitros (hL) e em percentagem (%). Adaptado de IVV (2024).

| País | Milhões de hectolitros | % |
|-------------------------|-------------------------------|------------|
| Estados Unidos | 32,9 | 14,2 |
| Itália | 24,2 | 10,5 |
| França | 23,2 | 10,0 |
| Alemanha | 19,8 | 8,6 |
| Reino Unido | 13,2 | 5,7 |
| China | 12,4 | 5,4 |
| Rússia | 10,3 | 4,5 |
| Argentina | 9,4 | 4,1 |
| Espanha | 9,2 | 4,0 |
| Austrália | 6,0 | 2,6 |
| Portugal/ Canada | 4,4 | 1,9 |
| Brasil | 4,1 | 1,8 |
| Roménia | 3,7 | 1,6 |
| Japão | 3,5 | 1,5 |
| África do Sul | 3,1 | 1,3 |
| Bélgica/Suíça | 2,5 | 1,1 |
| Áustria | 2,3 | 1,0 |
| República Checa/Suécia | 2,10 | 0,9 |
| Outros | 35,7 | 15,4 |
| Total | 231 | 100 |

Em 2020, a vinha ocupava uma área de 175 669 ha, representando assim 14,8 % da superfície total ocupada pelas várias culturas vegetais, sendo que em 2023 aumentou para 180 360 ha (Agrogarante, 2021; IVV, 2024). Ao nível económico, as exportações de vinhos em 2020 contribuíram com 856,2 milhões de euros, correspondentes a cerca de 1,6 % do total das exportações nacionais, e 24,1 % do total das exportações das indústrias alimentares, de bebidas, vinagres, tabacos e seus sucedâneos manufacturados (Agrogarante, 2021).

Segundo Viniportugal (2022), das exportações de vinho em 2022, alcançou-se um recorde de 326,6 milhões de litros equivalentes a 939,6 milhões de euros. Entre os principais países, destacam-se 10 mercados, nomeadamente: França, EUA, Reino Unido, Brasil, Canada, Alemanha, Angola, Países Baixos, Bélgica e Suíça (**Figura 1.10**).

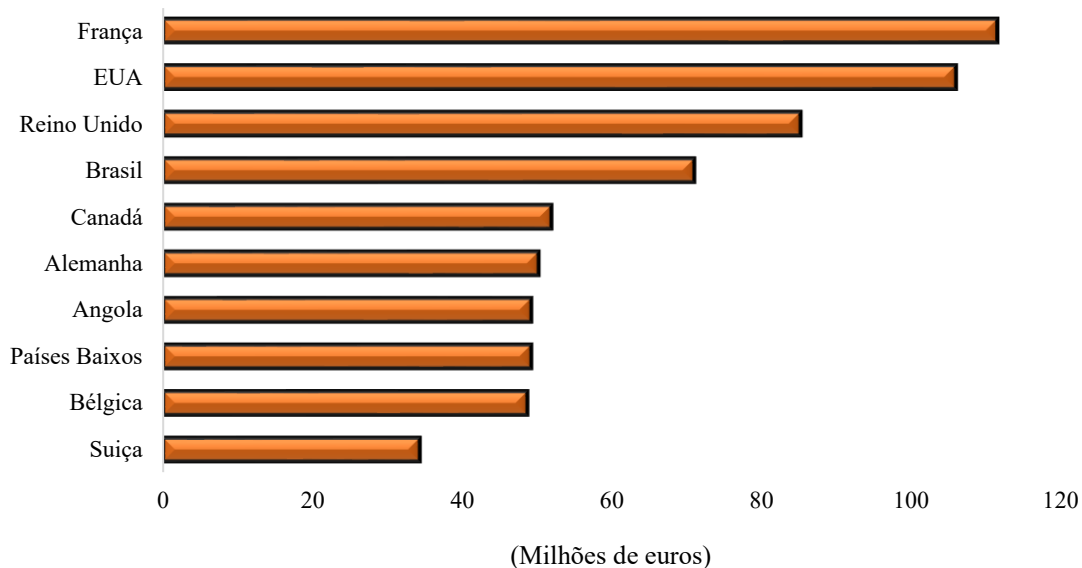


Figura 1.10 - Os 10 principais mercados de exportação de vinho em Portugal, valor ganho em milhões de euros. Adaptado de Viniportugal (2022).

Quando se fala do comércio com o mercado externo, em 2021, verificou-se que a percentagem de exportação (vendas e serviços) foi de 39,6 %, muito superior às importações (compras) com 7,8 %, verificando-se uma tendência crescente nas exportações e decrescente das importações. Em 2021, também se verificou a existência de 1009 empresas de indústria de vinho em Portugal, sendo mais 248 do que em 2012, tendo ocorrido um crescimento médio anual de 3,18 % neste setor (Viniportugal, 2022).

1.2.2 Zinco

1.2.2.1 No Solo e Plantas

As plantas precisam de nutrientes para um normal funcionamento e crescimento, entre estes são macronutrientes essenciais, o azoto (N), o fósforo (P), o potássio (K), o magnésio (Mg), o enxofre (S) e o cálcio (Ca), e micronutrientes essenciais, o ferro (Fe), o zinco (Zn), o manganês (Mn), o cobre (Cu), o boro (B) e o molibdénio (Mo) (Khan et al., 2023).

O Zn (um ião divalente “Zn²⁺”) é o segundo metal de transição mais comum nos organismos, e o único metal representado em todas as seis classes de enzimas (oxidoredutases, transferases, hidrolases, liases, isomerases, ligases), participando em diversas atividades fisiológicas essenciais para o metabolismo (Webb, 1992; Marschener, 2012). Apesar de ser requerido em pequenas quantidades, a nível fisiológico, encontra-se presente em *ca.*, 300 proteínas, desempenhando atividades catalíticas, estruturais e reguladoras (Krishna et al., 2020; Khan et al., 2021a). Decorrente do seu normal funcionamento, intervem na fotossíntese (desenvolvimento de cloroplastos e processos de reparação do fotossistema II), no

metabolismo das auxinas, na proteossíntese e no metabolismo dos glícidos, lípidos e ácidos nucleicos, na expressão e regulação de genes, na integridade da membrana celular, no controlo de oxi-radicais, entre outras (Chang et al., 2005; Tsonev e Lidon, 2012; Begum et al., 2016; Cakmak, 2018; Sturikova et al., 2018; Rudani, 2018; Hacisalihoglu, 2020). Entre estas, ressalva-se o papel dos iões de Zn no metabolismo das auxinas (sendo necessário para produzir o triptofano - precursor da auxina) que são hormonas responsáveis por diversas fases de desenvolvimento das plantas, *i.e.*, organogénese, a formação de tecido vascular, a dominância apical e a iniciação de raízes e respostas trópicas, afetando o crescimento das folhas e o desenvolvimento dos frutos (Reboredo, 1994; Ghori et al., 2019; Chasapis et al 2020; Krishna et al 2020).

Considerando um crescimento ótimo, a maioria das culturas requer 15 – 20 mg.kg⁻¹_{ps} em Zn (Marschner, 2012). Saliente-se que valores abaixo do intervalo referido, podem desencadear danos oxidativos nos lípidos das membranas, proteínas, clorofila e ácidos nucleicos devido à geração de espécies reativas de oxigénio (ROS). Ademais, uma vez que a anidrase carbónica é uma das enzimas cuja atividade está ligada ao Zn, pode ocorrer um desequilíbrio na transferência de CO₂ / HCO₃ na folha, necessária para a fixação fotossintética de CO₂ (Cakmak, 1987; Abadi e Sepehri, 2016; Santos et al 2021). Alguns dos sintomas associados à deficiência em Zn são, nomeadamente, atrofiamento das plantas, necrose do ápice radicular, clorose e manchas necróticas nas folhas, folhas malformadas e enrolamento interno da lâmina foliar (Skoog, 1940; Alloway, 2008, Broadley et al., 2007, Kabir et al 2014).

Ainda assim, efeitos negativos podem ocorrer caso o oposto aconteça e seja ultrapassado o limiar de toxicidade, *i.e.*, 300 – 400 mg.kg⁻¹_{ps}, tais como danos oxidativos, clorose nas folhas, inibição dos fotossistemas I e II (reversivelmente se não estiver sob um stress constante) e uma diminuição do crescimento da planta (Ackova, 2018; Ghori et al., 2019). A maioria das espécies de plantas, e os diferentes genótipos, apresentam uma elevada tolerância a níveis elevados de Zn, mas este limite varia de acordo com a espécie, genótipo e estágio de crescimento (Kabata-Pendias e Pendias, 2001). De facto, o crescimento das plantas, e mesmo a sobrevivência de órgãos novos e jovens, depende da remobilização dos minerais existentes em disponibilidade limitada no solo (Eichert e Goldbach, 2008; Smoleń, 2012).

A aquisição de Zn é maioritariamente realizada como ião divalente (Zn²⁺) pelas raízes das plantas, no entanto uma fração é absorvida ligada a compostos orgânicos, indicando uma elevada mobilidade nas plantas. Embora, de modo geral seja considerado de mobilidade intermédia, face a elementos móveis e imóveis como o K e P e Ca, respetivamente (Tsonev e Lidon, 2012; Gupta et al., 2016).

Segundo a literatura, existem hipóteses contrárias relativamente ao processo de absorção de Zn pelas raízes, pelo que poderá ser um processo passivo ou ativo, uma vez que pela via metabólica ao induzirem respostas com inibidores metabólicos não se conseguiu confirmar de que forma ocorria

(Tsonev e Lidon, 2012). De acordo com (Gupta et al., 2016; Krishna et al., 2020), o transporte passivo do Zn para as raízes ocorre através de mecanismos de fluxo de massa e difusão, envolvendo moléculas de água como solvente, assim como diferentes concentrações de Zn através da membrana plasmática das células da raiz. No entanto, ao contrário da água, a passagem dos íons de Zn através das células da membrana da raiz envolve proteínas transportadoras (as quais não estão ligadas à decomposição de ATP) (Gupta et al., 2016; Krishna et al., 2020). Outra via de absorção de Zn, foi reportada por (Demidchik et al., 2002), através de canais não seletivos de cátions, que permitem a passagem de diversos grupos de cátions sem gasto de energia.

O Zn é usualmente acumulado nas raízes e translocado para a parte aérea pelo xilema (principalmente por transpiração), embora níveis elevados de Zn também tenham sido encontrados no floema, indicando que também está envolvido no processo de translocação deste micronutriente. A translocação do Zn para o xilema ocorre via simplasto (intracelularmente) e apoplasto (extracelularmente) (Noulas et al., 2018). Apesar de ambas as vias serem responsáveis pelos fluxos de Zn para as partes aéreas da planta, a via simplástica é a principal, uma vez que o Zn apenas consegue ser extracelularmente transportado na região do apoplasto, onde a banda de Caspary não está completamente desenvolvida (*e.g.*, perto do ápice da raiz) (Kaur e Garg, 2021). O floema é responsável pelo transporte de Zn para várias partes da planta e tecidos emergentes (*i.e.*, em crescimento/desenvolvimento). Neste caso, a mobilidade do Zn é bastante elevada no floema face ao xilema, devido à maior quantidade de agentes quelantes como ácidos orgânicos na seiva (Krishna et al., 2020; Saleem et al., 2022).

Segundo Tsonev e Lidon (2012), de modo geral o transporte de Zn entre a raiz para outras membranas celulares parece ser metabolicamente controlado, através de um gradiente eletroquímico via proteínas transportadores, canais iônicos, ou contra o gradiente eletroquímico através de bombas eletrogênicas (sendo maioritariamente pelas duas últimas formas referidas). O transporte de Zn também decorre do auxílio da família das permeases de Zn e Fe (família ZIP), a ATPase de metais pesados (HMA), das proteínas tolerantes a metais (MTP), bem como canais de cátions não seletivos (*e.g.*, canais de Ca nas membranas plasmáticas) (Hassan et al., 2020).

Globalmente, deparamo-nos com a problemática do défice em Zn nos solos (*i.e.*, entre 0,6 e 2,0 mg.kg⁻¹), constituindo cerca de 49 % dos solos aráveis do mundo (Gammoh and Rink, 2017; Praharaj et al., 2021). Essencialmente, no caso do Zn, a baixa mobilidade e disponibilidade para as plantas, está dependente principalmente da sua concentração total no solo, das propriedades químicas do solo (o teor de argila, a humidade do solo, a matéria orgânica, o pH, estado redox e o carbonato de cálcio (CaCO₃)) e pelas interações entre minerais (Moreno-Lora e Delgado, 2020; Natasha et al., 2022).

Em termos do pH, este relaciona-se negativamente com a disponibilidade de Zn^{2+} , uma vez que o seu aumento (meio mais alcalino), leva à diminuição da disponibilidade do Zn (aumentando a sua adsorção). Segundo a literatura, com $pH > 8,0$, o Zn do solo está principalmente ligado à matéria orgânica e às argilas (devido à menor solubilidade dos minerais que contêm Zn e ao aumento da ligação do Zn a partículas de argila e a óxidos de Fe e Mn), enquanto que com $pH < 7$, o Zn aumenta a sua disponibilidade (Natasha et al., 2022; Kaur et al., 2024).

Ademais, para o crescimento fisiológico e o funcionamento das plantas, um potencial redox na gama de +300 a +700 mV é o ideal, uma vez que este influencia a velocidade e intensidade da humificação, o estado redox da rizosfera e, conseqüentemente, a mobilidade do Zn (Gupta et al., 2016).

Quando se considera a matéria orgânica e a humidade, um menor teor leva a uma diminuição na disponibilidade do Zn, este último fator devido à sua ação como meio de transporte do Zn para a raiz. Por outro lado, quando existem limitações nestes dois fatores, as conseqüências de seca face a campos irrigados ou com água disponível, são mais severas. Como referido também, a disponibilidade do Zn é influenciada pela interação com outros minerais, sendo que já foi observada relações antagónicas com os seguintes elementos, P, Fe, Mn e Cu (Praharaj et al., 2021).

1.2.2.2 No Organismo e Alimentos

A nível nutricional, o Zn é um dos oligoelementos mais abundantes e fundamentais no corpo humano, podendo variar o seu conteúdo médio em adultos entre 1,5 – 2,5 g (Liu et al., 2017; Gammoh e Rink, 2017). Segundo Uwitonze et al. (2020), no organismo humano, o Zn encontra-se maioritariamente nos músculos (60%) e ossos (30 %), mas também na pele (5 %). Porém, este micronutriente não é armazenado pelo organismo humano, sendo necessária a sua ingestão diária para satisfazer as necessidades vitais (Chasapis et al., 2020).

De acordo com Gammoh e Rink (2017) e Uwitonze et al. (2020), a ingestão diária recomendada de Zn é respetivamente, 11 e 8 mg para homens e mulheres adultos, sendo que estes valores dependem de vários fatores, como a idade, o sexo, o peso e o teor de fitato na dieta

Tal como mencionado anteriormente nas plantas, o Zn tem funções cruciais no organismo, incluindo nas funções a nível celular, diferenciação, divisão celular, crescimento celular, transporte celular, sistema endócrino e imunitário, transcrição, síntese proteica e síntese de ácidos nucleicos (Chasapis et al., 2020). Ao nível do sistema imunitário, está envolvido em processos de reparação de feridas, síntese e secreção de insulina e regulação de pressão arterial (Freitas et al., 2017; Lin et al., 2017). Adicionalmente, é um regulador biológico da expressão genética e da homeostase, evitando a produção de ROS

que poderiam causar danos ao nível cardiovascular, entre outros (Eide, 2011; Choi et al., 2018; Lehvy et al., 2019).

Abaixo dos níveis referidos, diversos problemas de saúde humana surgem nomeadamente, inibição do crescimento, disfunções cognitivas, um sistema imunitário enfraquecido, aumento do risco de infeções, perturbações do trato gastrointestinal ou urinário, entre outros (Velu et al., 2011, Poblaciones e Rengel, 2016; Singh e Govindan, 2017). Ademais, o Zn abaixo do nível necessário está relacionado com o agravamento do desenvolvimento de doenças neurológicas, auto-imunes, cardiovasculares e diabetes mellitus (Chasapis et al., 2011).

Considerando os géneros, ao nível da saúde do homem, é necessária uma quantidade adequada de Zn para manter o funcionamento normal da próstata, caso contrário poderá ser um fator de risco para problemas como hiperplasia benigna da próstata e até o cancro da próstata (Duan et al 2023). Globalmente, o cancro da próstata é o segundo cancro mais frequente (*ca.*, 1 414 000 novos casos de cancro em 2020), sendo considerado a 5ª principal causa de morte por cancro (*ca.*, 375 304 mortes em 2020) (Wang et al., 2020). No caso da mulher, na gravidez esta deficiência em Zn, pode levar ao aborto espontâneo, gravidez prolongada ou prematuridade, malformações e atraso no crescimento do feto (Duan et al 2023).

A deficiência deste micronutriente pode resultar de dietas alimentares pobres em diversidade (principalmente nos países em desenvolvimento), sendo que os principais alimentos que contribuem com Zn são, a carne, produtos à base de carne (28,5 %), cereais e grãos (25,5 %), leite e produtos lácteos (15,8 %), peixe (5,7 %), os legumes (5,2 %) e as refeições prontas a consumir (4,8 %), contemplando 85 % da ingestão total de zinco. O restante Zn é adquirido por outros alimentos/produtos como os ovos, frutos, bebidas, molhos e condimentos, doces, aperitivos, suplementos, óleos e gorduras entre outros (Olza et al., 2017).

Adicionalmente, considerando o teor de fitato (podendo este ser encontrado em numerosas plantas e as suas partes, incluindo sementes, frutos secos, leguminosas e cereais), caso a dieta humana seja rica em inibidores da absorção de zinco (como o fitato), ou pobre em proteínas, ou se a absorção não for suficiente no duodeno distal e no jejuno proximal do intestino delgado, pode desenvolver-se uma insuficiência crónica ligeira ou moderada de Zn (Uwitonze et al., 2020; Pires et al., 2023).

1.2.3 Biofortificação Agronómica em Zinco– Contextualização

A *hidden hunger* ou “fome oculta”, é caracterizada pela deficiência de micronutrientes, sendo considerado um problema de saúde pública que atinge *ca.*, 2 mil milhões de pessoas (cerca de um terço

da população mundial) em todo o mundo (Galani et al., 2022; Harding et al., 2018). Consequentemente, 1,5 a 2 mil milhões de pessoas têm deficiências crónicas de micronutrientes relacionadas com cálcio, iodo, ferro, selénio, zinco e vitaminas como o folato e a vitamina A (Galani et al., 2022).

De forma a ultrapassar a problemática da deficiência dos micronutrientes, e atender às necessidades nutricionais da população, sugeriu-se a biofortificação agronómica como alternativa. Esta é caracterizada por aplicar processos agronómicos para enriquecer naturalmente um mineral alvo nas partes edíveis da planta, através do uso de fertilizantes (Beyersmann et al., 2001; Andreini et al., 2006; Cakmak, 2008; Grüngreiff et al., 2020).

A fertilização pode ser efetuada através da aplicação no solo e / ou foliar, sendo que esta última se tem mostrado mais eficiente na captura e alocação de minerais, uma vez que não depende da translocação da raiz para os tecidos em crescimento e evita a fixação e acumulação de nutrientes no solo a níveis tóxicos para as plantas (Sultana et al., 2016; Valença et al., 2017; Kurešová et al., 2019; Di Gioia et al., 2019; Sathishkumar et al., 2020). Porém, a eficácia desta abordagem, também depende da absorção do mineral, que é influenciada pelo pH do solo, da concentração de matéria orgânica, dos catiões antagonistas (especialmente em solos calcários), do tipo de complexo de Zn, do nº de vezes e concentração de pulverização foliar e fase de pulverização foliar (Grüngreiff et al., 2020). Além do mais, a nível foliar, a absorção de nutrientes é dependente da espessura da superfície foliar, dependendo de cada espécie, bem como do número de poros, distribuição de tricomas e estomas da superfície foliar (Eichert e Goldbach, 2008; Smoleń, 2012).

Esta abordagem da biofortificação agronómica, nomeadamente em Zn, ganhou maior visibilidade com o início do programa internacional *HarvestPlus* e do seu subprojecto *HarvestZinc*, tendo como principal objetivo aumentar as concentrações de Zn nas partes edíveis das culturas alimentares. Neste âmbito, no projeto *HarvestZinc*, foram realizados diversos ensaios experimentais em trigo, arroz e milho, com aplicações no solo e foliares (HarvestPlus, 2024).

Após outros estudos de biofortificação agronómica, e de acordo com diversos autores (Wei et al., 2012, Poblaciones e Rengel, 2016), a aplicação a nível foliar comparativamente ao solo, mostrou ser a melhor alternativa para aumentar os níveis de Zn nas partes edíveis das plantas (**Figura 1.11**).



Figura 1.11 - Biofortificação agronômica em zinco efetuada a nível foliar na videira.

Para a biofortificação agronômica em Zn, o fertilizante mais utilizado é o sulfato de zinco (ZnSO_4), devido à sua elevada solubilidade em água. No entanto, outras fontes de Zn têm sido estudadas e aplicadas, tal como o Zn-EDTA e ZnO. O Zn-EDTA apresenta uma maior solubilidade, mas por ter um preço elevado torna-se dispendioso (Shaver et al., 2007; McBeath e McLaughlin, 2014; Doolette et al 2018). Por outro lado, o ZnO apesar da sua baixa solubilidade comparativamente ao ZnSO_4 , tem apresentado resultados similares quando aplicado via foliar nas plantas (e, adicionalmente, com uma melhor relação custo-benefício) (Shaver et al., 2007; McBeath e McLaughlin, 2014; Doolette et al., 2018). Isto parece indicar que a eficiência poderá estar relacionada com as diferentes vias que os fertilizantes podem seguir para chegar aos tecidos alvo, nomeadamente através de compostos hidrófobos e hidrófilos, processos de dissolução-difusão e através de tecidos danificados da cutícula (*e.g.*, estomas e tricomas) (Doolette et al., 2018).

Em termos das práticas agronômicas, este tipo de abordagem acaba por ser facilmente integrada na rotina normal dos agricultores, sendo que se podem aplicar fertilizantes juntamente com pesticidas (caso não subsistam problemas de compatibilidade), mas o custo extra do fertilizante é um fator a ponderar (Cakmak et al., 2018; Xia et al., 2020). No entanto, uma vez que este tipo de défice pode limitar a

produtividade das culturas, poderá haver retorno económico (Cakmak et al., 2018). Alguns estudos mostram que este retorno económico, resultante do aumento do rendimento e dos benefícios para a saúde humana, são maiores do que os gastos dos fertilizantes e da sua aplicação (Cakmak et al., 2018). Ao nível da aplicação destes fertilizantes, uma vez que podem ser aplicados juntamente com outros pesticidas e produtos já habitualmente colocados, o custo é praticamente apenas o do fertilizante (Cakmak et al., 2018).

A nível ambiental, de acordo com diversos autores (Valença et al., 2017), a aplicação dos fertilizantes enriquecidos com micronutrientes, têm um impacto negativo mínimo. Uma das preocupações aliadas a esta prática, é a toxicidade que poderá ocasionar, mas de facto como referido a maioria dos solos usualmente tem défices em Zn, sendo bastante rara e pouco provável esta situação nos campos agrícolas (Cakmak et al., 2018, Praharaj et al., 2021).

Outra questão que poderá ser vantajosa, é que a maioria dos micronutrientes não são viáveis para lixiviação, pois estão fortemente ligados a componentes do solo (Valença et al., 2017). Porém, pode tornar-se uma desvantagem, uma vez que podem acumular-se ao longo do tempo e haver risco de toxicidade, caso sejam aplicados em grandes quantidades e com frequência (de Valença et al., 2017). Desta forma, quando aplicados de forma ponderada, não oferecem riscos ambientais elevados e contribuem com benefícios a nível da fertilidade do solo e saúde das culturas (Valença et al., 2017).

Ademais, a aplicação a nível foliar fornece os nutrientes através das partes aéreas da planta, alcançando uma maior eficiência, e ao mesmo tempo reduzindo os potenciais impactos negativos ao nível do ambiente, nomeadamente a acumulação no solo (Niu et al., 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Campos Experimentais

2.1.1 Localização

O itinerário técnico foi realizado em quatro campos / áreas experimentais, nas vinhas de: (1) José Manuel Iria Coutinho, (2) da Casa Agrícola Nunes de Oliveira da Silva e (3) de Ana Luísa Nunes de Oliveira da Silva. Os campos ficaram referenciados pelo nome das propriedades: (1) Lagameças com a casta Castelão; (2) Lau velho e Biscaia, com a casta Fernão Pires e Syrah respetivamente; (3) Lau Novo com a casta Moscatel. Os quatro campos experimentais, localizam-se na região de Palmela (Portugal), com as seguintes coordenadas GPS (Lau Velho $-38^{\circ} 35' 41.467'' N$ $8^{\circ} 50' 44.535'' O$; Lagameças - $38^{\circ} 36' 01.19'' N$ $8^{\circ} 48' 18.18'' O$; Lau Novo $-38^{\circ} 35' 47.113'' N$ $8^{\circ} 40' 46.651'' O$; Biscaia - $38^{\circ} 35' 23.629'' N$ $8^{\circ} 51' 46.208'' O$. No segundo e terceiro ano dos ensaios experimentais, a localização das parcelas foi alterada, tendo estas sido deslocadas, até cerca de 100 m, da sua posição original (relativamente às áreas utilizadas no primeiro ano), tendo as seguintes coordenadas: Lau Velho - $38^{\circ} 35' 41.34'' N$ $8^{\circ} 50' 42.21'' O$; Lagameças - $38^{\circ} 35' 59.97'' N$ $8^{\circ} 48' 18.62'' O$ Lau Novo - $38^{\circ} 35' 48.42'' N$ $8^{\circ} 49' 45.54'' O$; Biscaia - $38^{\circ} 35' 20.76'' N$ $8^{\circ} 51' 43.52'' O$.

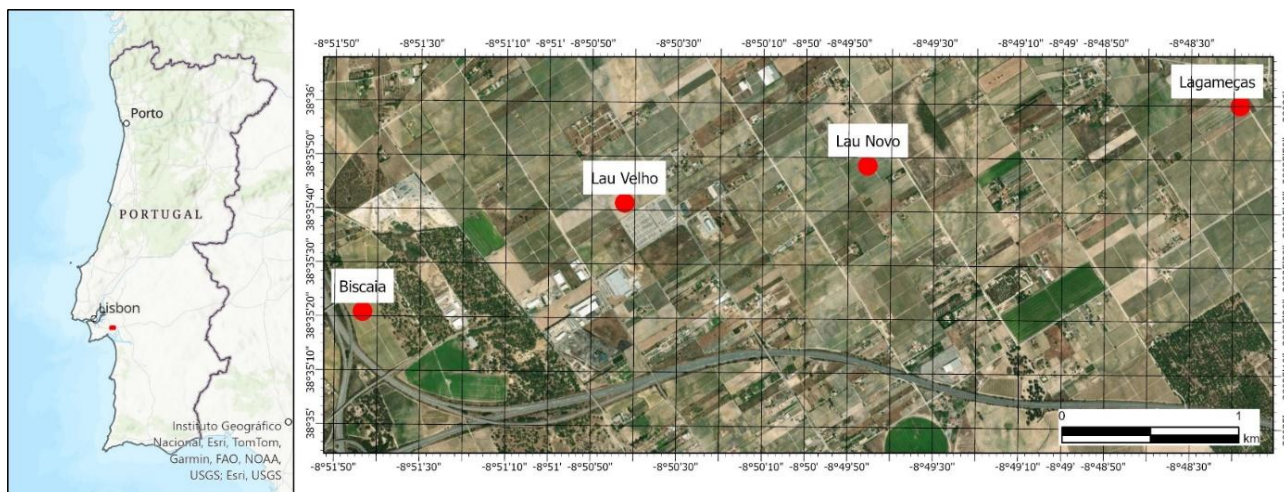


Figura 2.1 - Localização dos quatro campos experimentais destinados à produção de uva biofortificadas em Zn (Biscaia, Lau Velho, Lau Novo e Lagameças). (Imagem adaptada de *Google Earth* e com recurso ao *ArcGIS PRO v.2.8*).

2.1.2 Caracterização Geológica e Geomorfológica

A região, onde os quatro campos experimentais se situam, encontra-se na designada “baixa de Setúbal”, sendo genericamente plana, de terrenos não rochosos, situados na extremidade Este da Península de Setúbal. Considerando a folha da Carta Geológica de Portugal, à escala 1/50 000 (edição de 1966), estas quatro propriedades podem ser localizadas na folha “35-C Santo Isidro de Pegões”. Nesta, pode-se observar que todos os campos experimentais, se localizam na unidade geológica dominante na região, designada por “Complexo greso-argiloso de Pegões”, o qual, em termos de idade geológica se integra no Pliocénico. Revisão recente desta folha (edição não publicada), efetuada em 2006, por ocasião de projeto de digitalização da cartografia geológica da Área Metropolitana de Lisboa, promovida pela Associação de Municípios de Lisboa (AML) para o IGM / INETI, com coordenação científica da Universidade Nova de Lisboa, designa aquela unidade geológica por “PSM – Formação de Santa Marta: areias”, da mesma idade.

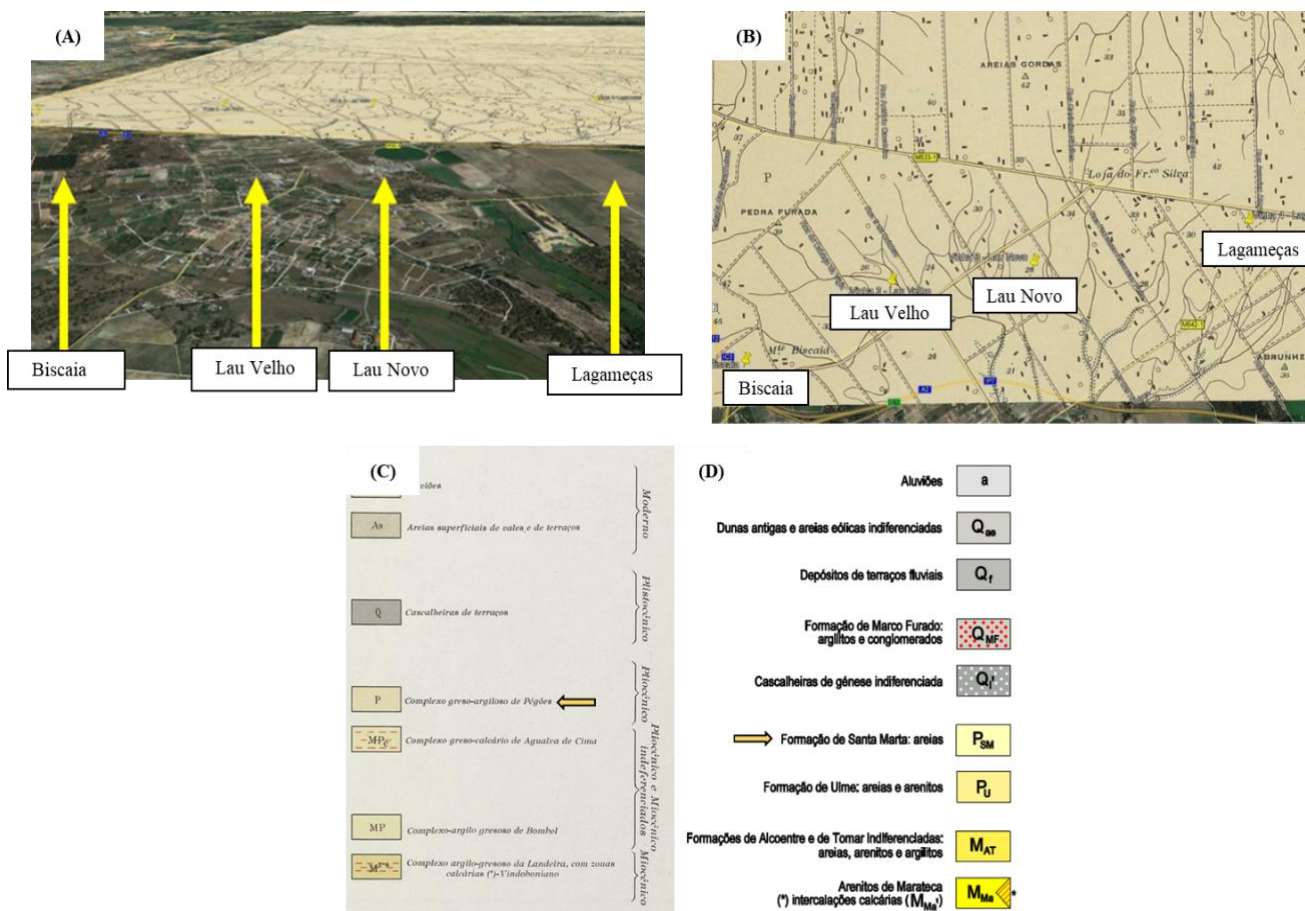


Figura 2.2 - (A) e (B) Localização dos campos experimentais na carta geológica, folha 35-C de Santo Isidro de Pegões da carta Geológica de Portugal à escala 1/50.000 (1966), (B) em vista oblíqua de enquadramento, através do *Google Earth*, (C) Legenda da carta geológica referida e (D) a sua revisão na carta da AML (2006). Fonte: *Google Earth* e Serviços Geológicos de Portugal, LNEG (1966).

Esta unidade geológica, sendo recente, e estando relacionada à evolução dos rios Tejo e Sado (que foram seguindo percursos diferentes dos que atualmente são conhecidos), possui sedimentos não consolidados e fáceis de trabalhar para a agricultura. De acordo com a Notícia Explicativa da folha atrás referida (folha da Carta geológica de Portugal à escala 1/50 000 - edição de 1966), a unidade, que apresenta fortes variações laterais, por vezes manifestando-se com aspeto lenticular, pode apresentar espessura total entre os 45 e os 50 m (Serviços Geológicos de Portugal, LNEG, 1968).

Do ponto de vista litológico, apresenta alternâncias de grés argiloso, amarelo-esverdeado, argilas arenosas e argilas ferruginosas e feldspáticas (Serviços Geológicos de Portugal, LNEG, 1968).

2.2 Itinerário técnico

O itinerário para biofortificação da uva em Zn adotou o conjunto de ações usuais já realizadas nas vinhas (*i.e.*, sem irrigação as castas: Fernão Pires – Lau Velho, vinha implantada e Castelão – Lagameças, implantada em 2000; com irrigação as castas: Moscatel – Lau Novo, implantada em 2014 e Syrah – Biscaia, implantada em 2006). A biofortificação em Zn foi realizada através da aplicação foliar, no início da floração até à evolução do “pintor”, de $ZnSO_4$ ou, em alternativa, ZnO ($ZnSO_4$ a 52 % e ZnO a 75 %). Para cada um dos fertilizantes e concentrações aplicadas e respetivo controlo, foram consideradas 48 plantas dispostas em linha com um de compasso 2,60 x 1,10 m (sendo a linha controlo separada das restantes linhas por uma linha nula).

No primeiro ano de ensaio experimental, foram realizadas três aplicações foliares em 16 de junho, 7 e 21 de julho (**Tabela 2.1**), utilizando-se três concentrações diferentes para cada fertilizante: 0, 150, 450 e 900 g.ha⁻¹. As colheitas foram efetuadas em 17 de setembro (casta Fernão Pires), 24 de setembro (casta Castelão), 25 de setembro e 26 de setembro (casta Moscatel) e 6 de outubro e 11 de outubro (casta Syrah) (**Tabela 2.1**). No segundo ano de ensaio experimental, foram realizadas quatro aplicações foliares em 29 de junho, 6, 13 e 19 de julho (**Tabela 2.1**), mantendo-se a concentração que revelou um maior índice de biofortificação em Zn de cada um dos dois fertilizantes aplicados no primeiro ano do projeto e aplicou-se também uma concentração superior (e respetiva testemunha): 0, 900 e 1350 g.ha⁻¹. As colheitas foram efetuadas em 26 de agosto (casta Fernão Pires), 25 de setembro (casta Castelão), 10 de setembro (casta Moscatel) e 14 de setembro (casta Syrah) (**Tabela 2.1**). No último ano de ensaio experimental, foram realizadas quatro aplicações foliares em 6 de junho, 29 de junho, 14 de julho e 12 de agosto (**Tabela 2.1**), procedendo-se à repetição da aplicação da concentração que revelou um maior índice de biofortificação em Zn, tendo por objetivo, considerar as variações das condições edafoclimáticas em diferentes anos agrícolas, pretendendo-se a confirmação / otimização dos índices de biofortificação em Zn, na seguinte concentração para cada fertilizante: 1350 g.ha⁻¹. As colheitas foram efetuadas em 19 de agosto (casta Fernão Pires), 16 de setembro (casta Castelão), 15 de setembro (casta Moscatel) e 14 de setembro (casta Syrah) (**Tabela 2.1**).

Tabela 2.1 - Datas das pulverizações foliares para biofortificação em Zn, das quatro castas em estudo e respetivas datas de colheita.

| Ano de Ensaio | Castas | | | |
|---------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | Fernão Pires | Castelão | Moscatel | Syrah |
| 1º | | | 16 de junho | |
| | Data de aplicação foliar | | 7 de julho | |
| | | | 21 de julho | |
| | Colheita | 17 de setembro | 24 de setembro | 25 de setembro |
| 2º | | | 29 de junho | |
| | Data de aplicação foliar | | 6 de julho | |
| | | | 13 de julho | |
| | | | 19 de julho | |
| Colheita | 26 de Agosto | 25 de setembro | 10 de setembro | 14 de setembro |
| 3º | | | 6 de junho | |
| | Data de aplicação foliar | | 29 de junho | |
| | | | 14 de julho | |
| | | | 12 de Agosto | |
| Colheita | 19 de agosto | 16 de setembro | 15 de setembro | 14 de setembro |

2.2.1 Adubação e Fitossanidade das Vinhas em Estudo

Ao longo do ciclo de produção aplicaram-se diversos produtos fitofarmacêuticos, para controlo de pragas e doenças, e fertilizantes (não tendo sido aplicadas restrições devido ao ensaio experimental). Uma vez que o itinerário aplicado foi introduzido nas ações usuais já adotadas em cada vinha, foi solicitada uma lista anual durante o ensaio experimental (três anos), com os produtos de adubação e fitossanidade aplicados e as respetivas datas de aplicação (*cf.* Anexo A.1).

2.3 Condições Meteorológicas do Ensaio Experimental

Considerando a influência das condições edafoclimáticas nas castas e, subsequentemente, no ensaio experimental, fez-se uma recolha das informações meteorológicas na zona dos campos experimentais. No primeiro ano de ensaio experimental, utilizou-se a Base Aérea do Montijo (38°43'28.7"N, 9°0'40.114"O), situada a cerca de 30 km dos campos experimentais, selecionando-se os dados diários desde janeiro até dezembro (portanto, o período de ensaio deste ano). Para o segundo e terceiro ano experimental, utilizou-se outra rede meteorológica, situada em Setúbal (38.52° N, 8.88° E), recolhendo-se informação entre janeiro e dezembro (também neste caso relativo aos períodos de ensaio, desde a

data da primeira pulverização, até à data da colheita – de 29 de julho a 25 de setembro e de 6 de junho a 16 de setembro, para o segundo e terceiro ano, respetivamente).

2.4 Amostragem

2.4.1 Solos e Água de Irrigação

Em março do primeiro ano experimental, foram realizadas recolhas de amostras de solos nos terrenos das vinhas em estudo: Biscaia (n = 32) e Lagameças, Lau Novo e Lau Velho (n = 28). Para cada amostra, recolheram-se cerca de 300 – 500 g (da superfície até uma profundidade de 30 cm), removendo-se previamente a capa superficial orgânica (detritos e plantas). Estas amostras foram colocadas em sacos de polietileno, para serem transportadas e armazenadas, para posterior análise no laboratório.

A recolha da água foi realizada diretamente dos sistemas de irrigação presentes em cada um dos campos sujeitos a irrigação, *i.e.*, Lau novo (primeiro e segundo ano) e Biscaia (segundo e terceiro ano).

2.4.2 Folhas e Frutos

Para monitorização das folhas e frutos durante o ciclo produtivo, foram realizadas recolhas para além da colheita, nomeadamente: no primeiro ano, a 12 e 27 de julho; no segundo ano, a 24 de julho; no terceiro ano a 8 de julho (**Tabela 2.2**).

Tabela 2.2 - Datas das recolhas de folhas e frutos, das quatro castas em estudo e respetivas datas de colheita.

| Ano de Ensaio | Castas | | | |
|---------------|--------------|-------------------------------|----------|-------|
| | Fernão Pires | Castelão | Moscatel | Syrah |
| 1° | | 12 de julho (folhas e frutos) | | |
| | | 27 de julho (folhas e frutos) | | |
| 2° | | 24 de julho (folhas e frutos) | | |
| 3° | | 8 de julho (folhas e frutos) | | |

2.5 Qualidade da Água de Irrigação

A análise da qualidade da água, foi realizada no laboratório do Departamento de Ciências da Terra (*NOVA School of Science and Technology*), considerando-se os parâmetros físicos (pH e

condutividade elétrica) e químicos (ião bicarbonato, sulfato, cloreto, nitrato, fosfato, sódio, cálcio, magnésio e potássio). A classificação iônica foi efetuada considerando iões dominantes, segundo a metodologia proposta por Piper e classificada para uso agrícola através da projeção de Wilcox (que considera o índice SAR e a condutividade elétrica da água).

2.5.1 pH e Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) e o pH foram determinados com um analisador multiparamétrico da *Consort* (C 6030) e com elétrodos *SP21* (pH) e *SK20T* (CE).

2.5.2 Titulação do Ião Bicarbonato (HCO_3^-)

A alcalinidade / bicarbonato foi determinada por titulação, considerando 100 mL de amostra de água e ácido clorídrico 0,1N como titulante, na presença do indicador alaranjado de metilo a 0,1%, segundo o método descrito por Rodier et al. (2009).

2.5.3 Fotometria

Os iões cloreto, sulfato, nitrato e fosfato, foram quantificados através de fotometria, com recurso ao equipamento *Spectroquant*, NOVA 60, da *Merck*, e *Kits* com referências: 1.14897, 1.14779, 1.14773 e 1.14842.

2.5.4 Cromatografia Iônica

Por cromatografia iônica de alta pressão (HPLC) foram quantificados os iões cálcio, sódio, potássio e magnésio, com um cromatógrafo da *Metrohm* (Modelo 761 *Compact IC*) equipado com coluna e pré-coluna (*Metrosep cation 1-2*, 6.1010.000), segundo o método descrito no *Application Bulletin*, Nº 257/1e, da *Metrohm* (eluente 4 mM ácido tartárico /1mM ácido dipicolínico, fluxo 1.00 mL.minutos⁻¹, Volume 10.0 µL).

2.6 Caracterização e Monitorização das Vinhas

2.6.1 Caracterização dos Solos dos Campos Experimentais - pH, Condutividade Elétrica, Matéria-orgânica e Humidade

2.6.1.1 Humidade e Matéria Orgânica

A humidade do solo e a matéria orgânica (MO) foram determinadas retirando cerca de 100 g de solo de cada amostra, utilizando um peneiro (com malha de 2,0 mm) para remover pequenas pedras,

materiais grosseiros e outros detritos. O peso foi registado e após secagem a 105 °C durante 24 h (considerando-se durante este período a repetição de pesagens até obtenção de peso constante), determinou-se a massa seca e a percentagem de humidade. Após este processo, as amostras foram colocadas na mufla com um aquecimento gradual até 550 °C, durante 4 horas. Seguidamente, as amostras foram retiradas da mufla e colocadas no exsiccador, até arrefecerem para a temperatura ambiente, determinando-se a MO após nova pesagem.

2.6.1.2 pH e Condutividade Elétrica

O pH e a CE do solo foram determinados nas amostras previamente tratadas da análise de humidade e matéria orgânica, pelo método descrito por Pessoa et al. (2016). Concisamente, numa proporção de 1:2,55 g.ml⁻¹ de água *milli-q* preparou-se a amostra, colocando-se uma hora em agitação e durante 30 minutos a 25 °C num banho termal. Após este tempo, decantou-se o sobrenadante e determinou-se o pH e a condutividade elétrica (CE) através de um analisador multiparamétrico da *Consort* (C 6030) e elétrodos *SP21* (pH) e *SK20T* (CE).

2.6.2 Detecção Remota

A deteção remota permite adquirir imagens multiespectrais de elevada resolução espacial, que permitem registar a reflectância dos objetos da superfície terrestre, em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético (EM). As regiões do espectro eletromagnético captadas são: a região do visível (azul, verde e vermelho – RGB) e do infravermelho (infravermelho próximo (NIR), infravermelho médio (SWIR) e infravermelho térmico). A banda espectral NIR, permite detetar variações nas propriedades fenológicas das plantas, uma vez que as clorofilas absorvem luz na região do vermelho e refletem intensamente a luz na região NIR.

As folhas quando estão saudáveis, absorvem a maioria da radiação visível, nomeadamente na região do vermelho e refletem e transmitem a maioria da radiação NIR (Caruso et al., 2023).

Neste contexto, um índice muito utilizado é o *Normalized Digital Vegetation Index* (NDVI), que traduz a absorção da luz vermelha pela clorofila e a dispersão da luz NIR pela estrutura do mesófilo das folhas (Chao et al., 2019; Loures et al., 2020).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R} \quad (2.1)$$

Quanto maior o conteúdo de clorofilas, maior será o potencial fotossintético, sendo visível pela maior absorção da radiação vermelha e maior reflexão da radiação NIR (Wang et al., 2023). O NDVI

de uma área pode variar entre valores de -1 a 1, sendo que os valores próximos de 1 indicam uma maior quantidade de clorofila, enquanto valores próximos de 0, ou negativos, indicam vegetação seca e ausência de vegetação, respectivamente (Bagherzadeh et al., 2020; Rhyma et al., 2020).

2.6.2.1 Metodologia para a Monitorização das Vinhas

Ao longo do ensaio experimental, foi adquirida informação, a partir do uso de detecção remota, para avaliar o estado e qualidade fisiológica das vinhas em estudo. Através da detecção remota, foram obtidas imagens de altimetria e multiespectrais dos campos em estudo, com recurso a um veículo aéreo não tripulado (*VANT*), equipado com câmaras multiespectrais e uma câmara RGB para analisar imagens de alta resolução, de acordo com a metodologia indicada em Pessoa et al. (2022). Esta metodologia envolveu três fases distintas (as quais serão descritas nos subcapítulos seguintes): 1) Aquisição dos dados de detecção remota; 2) Caracterização da morfologia do terreno e 3) Avaliação do vigor das plantas e da eficácia das aplicações foliares aplicadas.

2.6.2.1.1 Aquisição dos Dados de Detecção Remota

As imagens de altimetria e multiespectrais foram adquiridas com um *Drone DJI Phantom 4 Pro+* com câmara RGB integrada de 20MPx e com uma câmara multiespectral *Parrot Sequoia*, que possui capacidade para registar a refletância dos objetos nos comprimentos de onda na banda do verde (550 ± 5 nm), vermelho (660 ± 5 nm), limite do vermelho (735 ± 5 nm) e infravermelho próximo (790 ± 5 nm), denominadas usualmente por *Green (G)*, *Red (R)*, *Red Edge (RE)* e *NIR*.

Para configurar os planos de voo nos quatro campos em estudo (nomeadamente a geometria dos voos e os parâmetros utilizados), utilizou-se o *software DJI Ground Station Pro* (DJI, 2018) (**Figura 2.3**).



Figura 2.3 - Exemplo da geometria dos voos e os parâmetros básicos (A) e avançados (B) de voo, dos campos: Biscaia (A1 e B1); Lau Velho (A2 e B2); Lau Novo (A3 e B3) e Lagameças (A4 e B4).

Os parâmetros de voo em geral, consideraram uma sobreposição de 80 % longitudinal e lateral, de forma a garantir sobreposição suficiente para os mosaicos e uma altitude de voo preferencialmente a cerca de 40 metros. Com os voos realizados, obtiveram-se as imagens necessárias (nomeadamente a obtenção de ortomosaicos) para processar os dados e realizar modelos de altimetria e, adicionalmente, calcular o NDVI, com recurso aos *softwares Agisoft Metashape e o ArcGis PRO v.2.8*, respetivamente.

2.6.2.1.2 Caracterização da Morfologia do Terreno

A caracterização morfológica dos campos foi realizada através do processamento das imagens RGB obtidas através do software *Agisoft Metashape*, permitindo criar ortofotomapas e modelos de elevação dos terrenos. Através destas imagens, também foi possível realizar uma estimativa das áreas com um maior potencial para acumulação e infiltração das águas de rega e as linhas de drenagem superficial dos terrenos. Dado que dois dos terrenos são sujeitos a irrigação, é relevante considerar a influência deste fator para a eficiência deste itinerário técnico.

Para definir as áreas com maior aptidão, para a ocorrência de infiltração superficial ou escoamento direto, podem as mesmas dividir-se em classes de declives que, dependendo de vários autores, podem variar. Assim, de acordo com Oliveira e Lobo Ferreira (2002), para a avaliação de áreas com maior ou menor aptidão para a infiltração das águas superficiais, deverão considerar-se cinco classes de declives (< 2 %, 2 % - 6 %, 6 % - 12 %, 12 % - 18 %, > 18 %), onde os valores mais baixos indicam drenagem reduzida, ou não significativa, e mais aptidão para a infiltração superficial. Complementarmente, Brito et al. (2006) sugerem três classes de declives (< 2 %, 2 % - 5 %, > 5 %): a classe < 2 % que corresponde a áreas planas, ou semiplanas, onde não ocorre drenagem ou escorrência das águas de superfície; de 2 % a 5 %, considerada a classe onde poderá ocorrer drenagem reduzida a moderada e a classe de declives > a 5%, com aptidão para drenagem moderada a elevada.

Neste contexto, a carta de declives foi calculada com o *software Arcgis Pro*, através da função *SLOPE*, aplicada ao modelo de elevação de terreno, e com base nos resultados obtidos e autores mencionados, consideraram-se as classes de declives (**Tabela 2.3**).

Tabela 2.3 - Descrição das classes de declive para as superfícies de drenagem, e respetiva aptidão para a acumulação ou drenagem de águas superficiais

| Classe | Descrição da Classe | Aptidão para drenagem superficial |
|--------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 | [0 – 5 %] Plano ou declive suave | Zonas de acumulação de água/drenagem superficial baixa |
| 2 | [5 – 20 %] Declive moderado | Drenagem superficial média a elevada |
| 3 | ≥ 20 % Declive elevado | Drenagem superficial elevada |

2.6.2.1.3 Avaliação do Vigor das Plantas e da Eficácia das Aplicações Foliare Aplicadas

Para avaliar o vigor das plantas, foi efetuado o processamento das imagens multiespectrais na região do vermelho e infravermelho próximo (VNIR), com o auxílio do *software ArcGIS Pro*, obtendo-se índices de produtividade e vigor das plantas pelo NDVI. Os mapas do vigor das folhas das vinhas dos campos experimentais, foram obtidos a partir das imagens adquiridas nas datas indicadas na **Tabela 2.4**.

Tabela 2.4 – Datas de obtenção das imagens para cálculo do NDVI.

| Ano de ensaio | Castas | | | | Nº de aplicações foliares |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|
| | Fernão Pires | Castelão | Moscatel | Syrah | |
| 2º | 22 de agosto | 22 de agosto | 22 de agosto | 22 de agosto | 4 |
| 3º | 17 de junho | 17 de junho | 17 de junho | 17 de junho | 1 |

A avaliação do estado e qualidade fisiológica das vinhas após as aplicações foliares, foi realizada através da estimativa dos valores médios de NDVI para cada linha (correspondente a amostras diferentes). O cálculo dos valores estatísticos, nomeadamente a média, o mínimo, o máximo e o desvio padrão de NDVI obtidos para cada linha da vinha dos campos experimentais, foi realizado com a função *Zonal Statistics* implementada no *software ArcGis Pro* (ESRI, 2019).

2.6.3 Acompanhamento Ecofisiológico

2.6.3.1 Trocas Gasosas Foliare por Infravermelho

Relativamente às trocas gasosas a nível foliar ($n = 4 - 6$ plantas), as mesmas foram determinadas, anualmente, para cada fertilizante e respetivas concentrações em dois momentos diferentes (**Tabela 2.5**), como descrito em Rodrigues et al. (2016) com pequenas alterações.

Tabela 2.5 - Datas de monitorização dos parâmetros de trocas gasosas e parâmetros de fluorescência da clorofila *a*.

| Ano de ensaio | Castas | | | |
|---------------|----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| | Fernão Pires e Syrah | | Moscatel e Castelão | |
| | Data | Nº de aplicações foliares | Data | Nº de aplicações foliares |
| 1º | 27 de julho | 3 | 1 de agosto | 3 |
| | 13 de setembro | | 13 setembro | |
| 2º | 29 de julho | 4 | 29 de julho | 4 |
| | 21 de Agosto | | 21 de agosto | |
| 3º | 30 de junho | 2 | 30 de junho | 2 |
| | 19 de Agosto | | 19 de agosto | |

De forma a determinar as taxas de fotossíntese líquida (P_n), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) utilizou-se um analisador portátil de gás por infravermelhos (*Li-Cor 6400, LiCor, Lincoln, EUA*), com fonte de luz LED azul-vermelho (que proporcionou uma irradiância de *ca.* $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Em detalhe, as taxas de P_n , g_s e E foram determinadas nas condições ambientais dos dias das avaliações (exceto para a irradiância). As determinações foram realizadas *in vivo* entre *ca.* 2 – 4 h de iluminação das plantas (*ca.* 10 – 12h), por ser o período diurno de maior atividade fotossintética. A eficiência instantânea do uso da água (i_{WUE}) foi calculada como o rácio P_n / E , e representa as unidades de CO_2 assimilado por unidade de água consumida pela transpiração.

2.6.3.2 Parâmetros de Fluorescência da Clorofila a

Complementarmente à análise das trocas gasosas, determinaram-se os parâmetros de fluorescência da clorofila a , nas mesmas folhas e condições climáticas, recorrendo a um fluorímetro *PAM 2000* (*H. Walz, Effeltrich, Alemanha*). As determinações foram realizadas como descrito em Rodrigues et al. (2016) e Martins et al. (2016), com pequenas alterações, usando para cálculo as fórmulas de Kramer et al. (2004), Krause e Jahns (2004) e Schreiber (2004). A fluorescência inicial (F_o) e a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema (PS) II (F_v/F_m) foram determinadas em folhas adaptadas à escuridão. O parâmetro F_o é considerado como a emissão de fluorescência da molécula de clorofila a excitada, antes da energia chegar ao centro de reação (*i.e.*, antes de qualquer evento fotoquímico) e a quinona A (Q_A) num estado oxidado, mediante a aplicação de luz de muito baixa irradiância ($<0,5 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$). Considera-se que o parâmetro F_m corresponde à redução completa dos aceitadores primários do PSII e ao total encerramento dos centros de reação do PSII, sendo obtido com um impulso de luz actínica de 0,8 s, com *ca.* $7500 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (previamente determinado como sendo saturante). Para obtenção do F_v/F_m , o cálculo é realizado como $[(F_m-F_o)/F_m]$. Note-se que estas determinações foram efetuadas (pelas 17 – 18 h) nas mesmas folhas usadas para as determinações em equilíbrio dinâmico de fotossíntese (entre as 10 – 12 h) após 5 – 7 h de escuridão.

Os parâmetros q_L , q_N , $Y_{(III)} (= \phi_e)$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$ e F_v'/F_m' (Kramer et al., 2004; Klughammer e Schreiber, 2008), foram avaliados em condições de equilíbrio dinâmico da fotossíntese, com irradiância natural (*ca.* 1000 a $1300 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) e à qual se sobrepueram flashes saturantes. O F_o' que é utilizado para o cálculo dos fatores de amortecimento, foi obtido às escuras, imediatamente após a colocação da folha às escuras e antes da primeira fase da cinética de relaxamento. O F_v'/F_m' exhibe a eficiência atual (à luz) da eficiência de conversão de energia no PSII. O q_L é o fator de amortecimento (*quenching*) fotoquímico e representa a proporção de energia capturada pelos centros de reação abertos do PSII e usada para eventos fotoquímicos (baseado no conceito que defende a existência de antenas do PSII interconectadas). O q_N é o *quenching* não-fotoquímico e representa a proporção de energia dissipada de

forma térmica por mecanismos de fotoproteção. As estimativas dos rendimentos quânticos do transporte fotossintético de elétrons não-cíclico ($Y_{(II)}$), da dissipação regulada de energia no PSII ($Y_{(NPQ)}$), e da dissipação não regulada (calor e fluorescência), dissipação no PSII ($Y_{(NO)}$), sendo [$Y_{(II)} + Y_{(NPQ)} + Y_{(NO)} = 1$], foram também determinadas (Kramer et al., 2004; Huang et al., 2011).

2.6.4 Parâmetros Físicos e Químicos

2.6.4.1 Densidade e Percentagem de Peso Seco

À colheita efetuou-se a recolha de frutos procedendo-se à determinação da densidade para cada amostra ($n = 3$). Para esta determinação, utilizou-se o método de deslocamento de volume, equações (2.2) e (2.3), onde se procedeu à pesagem dos bagos de uva (selecionados de forma randomizada dos cachos), e registando-se a variação do volume após introduzir numa proveta com água.

$$Densidade (Kg.m^3) = \frac{Massa (Kg)}{Volume (m^3)} \quad (2.2)$$

A análise do peso seco à semelhança da anterior, foi realizada à colheita, sendo realizada para cada tipo de amostra ($n = 3$).

$$\% \text{ Peso seco} = \frac{100\% \times \text{Peso seco (g)}}{\text{Peso fresco (g)}} \quad (2.3)$$

2.6.4.2 Colorimetria

2.6.4.2.1 Sistema CieLab

A cor dos solos, das folhas e das uvas foi determinada em diferentes fases, de acordo com o sistema CieLab, utilizando-se um colorímetro (*Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing Inc., Japão*) com o iluminante D_{65} , acoplado a um recipiente para amostras sólidas (*CR-A504*). Os valores foram expressos segundo o sistema CIELAB (*Commission Internationale de Éclairage*, espaço de cor L, a^* , b^*), em que L representa a luminosidade (variando entre preto absoluto e branco, correspondendo a 0 e 100, respetivamente), enquanto a^* (vermelho quando positivo e verde quando negativo) e b^* (amarelo quando positivo e azul quando negativo) representam as coordenadas de cromaticidade. Estas coordenadas quando estão próximas de valores nulos traduzem cores neutras (branco, cinzento e preto). O equipamento foi previamente calibrado (branco, L 85,5; a^* 0,3185; b^* 0,3356).

Os parâmetros colorimétricos do solo (amostras previamente tratadas da análise de humidade e matéria orgânica), das folhas e dos frutos ($n = 3$), foram determinados seguindo a metodologia descrita por Ramalho et al. (2018).

2.6.4.2.2 Colorímetro Espectrofotométrico de Varrimento

As folhas e frutos ($n = 3$), foram também analisados em diversas fases com um colorímetro espectrofotométrico de varrimento (*Agrosta*, União Europeia). A luz foi fornecida com um LED branco com um amplo espectro em toda a área visível. O sensor forneceu uma deteção *half-max* de largura total de 40 nm. Este sensor possui 6 fototransistores, cada um com sensibilidade em um espectro específico, a 450, 500, 570, 600 e 650 nm.

2.6.4.3 Teor de Sólidos Solúveis Totais

A determinação dos sólidos solúveis totais ($n = 3$) foi analisada em uvas à colheita com um refratómetro digital (modelo *Atago*, Tóquio, Japão), sendo os valores expressos em °Brix.

2.6.5 Quantificação e Localização Tecidual de Elementos Minerais

2.6.5.1 Espectrofluorimetria Acoplada com Raios-X

A análise dos elementos minerais nos solos, folhas e frutos, foi realizada recorrendo a um analisador portátil de raios-X (modelo *XL3t 950 He GOLDD +*, *Niton Thermal Scientific*) sob atmosfera de hélio, de acordo com o método descrito por Luís et al. (2021). Nos solos ($n = 4$), as amostras após saída da mufla (subcapítulo 2.6.1.1), foram peneiradas com malha de 200 μm , de forma a homogeneizar a granulometria. Nas folhas e frutos ($n = 3$), foram realizadas várias recolhas ao longo do ciclo produtivo das uvas, sendo estas sujeitas a uma secagem a 50 – 60 °C (até peso constante), sendo posteriormente moídas num moinho de hélices (Qilive, Portugal) e armazenadas em sacos de plástico selados. A análise foi realizada com leituras de 180 segundos, após as amostras moídas serem transferidas para cuvetes próprias. Os limites de deteção dos elementos determinados foram os seguintes: Zn= 6 mg.kg⁻¹; Ca = 65 mg.kg⁻¹; P= 450 mg.kg⁻¹; S= 90 mg.kg⁻¹; K= 200 mg.kg⁻¹; Fe= 25 mg.kg⁻¹.

2.6.5.2 Espectrofotometria de Absorção Atómica

Os elementos minerais dos frutos obtidos à colheita foram ainda analisados ($n = 3$) segundo a metodologia reportada por Reboredo et al. (2018). Procedeu-se à digestão de 1 g de amostra (de frutos previamente desidratados numa estufa a 50 °C e moídos), através da adição de 10 mL de ácido nítrico às amostras, seguindo-se o aquecimento (100 – 150 °C) até evaporação total. Após este processo, seguiu-se uma segunda digestão, com a adição de 5 mL de uma solução de ácido nítrico e ácido perclórico (2:3) até evaporação total. Por fim, o precipitado foi diluído numa solução de ácido clorídrico (HCl 2 %) e filtrado (*Whatman* n°4).

Com recurso a um espectrofotómetro de absorção atómica (modelo *Perkin Elmer AAnalyst 200*, USA), e *software AA WinLab*, foram efetuadas leituras dos valores de absorvência. O aparelho foi previamente calibrado para cada elemento mineral (Ca, K, Mg, P, Fe, Cu e Zn) com diferentes soluções padrão (em HCl 2 %) obtendo-se as retas de calibração. Os limites de deteção genéricos dos elementos determinados são: Zn= 0,018 mg. kg⁻¹; Fe= 0,18 mg. kg⁻¹; Ca= 0,092 mg. kg⁻¹; Mg= 0,19 mg. kg⁻¹; K= 0,083 mg. kg⁻¹; Cu= 0,117 mg. kg⁻¹; Na= 0,5 mg. kg⁻¹; P= 290 mg. kg⁻¹.

2.6.5.3 Localização Tecidular de Elementos Minerais com Sistema de Fluorescência de Dispersão de Raios-X de Micro-energia e Microscópio Eletrónico de Varrimento

A localização tecidular do Zn foi efetuada num microscópio eletrónico de varrimento (*JEOL JSM-T330A*, Japão), acoplado a um dispositivo de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS). Definiram-se 3 regiões nas uvas: 1 - região interna da película; 2 - zona média da película; 3 - zona periférica da película. Para captura de imagens, foi utilizado o *software AnalySIS 3.0* da *Soft Imaging System GmbH* e *Quest SpectraPlus*, da *Thermo Noran*, considerando-se a razão Zn / Ca para determinar a localização do Zn.

A par da determinação dos elementos minerais, realizou-se uma análise da localização tecidular e quantificação dos mesmos, dos frutos à colheita (n = 3), com um sistema fluorescência de dispersão de raios-X de micro-energia (μ -EDXRF) (*M4 Tornado™*, *Bruker*, Alemanha) (Cardoso et al., 2018). A preparação das amostras envolveu um corte longitudinal das uvas e a desidratação das mesmas em estufa (50 - 60 °C). Após este processo, para a realização da análise, definiram-se 2 regiões, sendo a 1ª localizada na zona limítrofe da película e a 2ª nas grainhas de cada variedade.

2.7 Análises Nutricionais

2.7.1 Açúcares Solúveis

Os açúcares foram analisados segundo o método de Medlicott e Thompson (1985) com algumas alterações. Para preparar as amostras, cerca de 40 g de bagos de uvas de cada tratamento, foram colocados em 150 mL de água *milli-Q* (n = 3). Após este processo, a amostra foi liquefeita até ficar homogénea e o volume foi acertado para 200 mL (sendo estas amostras conservadas em gelo). Sucedeu-se a transferência para tubos de centrifuga e após passagem por ultrassons (*ca.* 5 minutos), as amostras foram centrifugadas (15000 g, 20 minutos, 4 °C). O sobrenadante foi retirado e mantido em gelo, adicionando-se ao precipitado um volume de água *milli-Q* idêntica ao sobrenadante previamente retirado, e após agitação, repetiu-se o passo de centrifugação. Após a segunda centrifugação, juntaram-se os

sobrenadantes, homogeneizou-se e transferiu-se 20 mL da amostra para um tubo colocado num banho aquecido. Durante 4 minutos, e após levantar fervura, os tubos foram transferidos para gelo (ca. 6 minutos). Procedeu-se a outra centrifugação (15000 g, 20 minutos, 4 °C), filtrou-se (nylon 0,45 mm) para tubos *ependorf* e congelaram-se as amostras até injeção.

A injeção ocorreu num HPLC - Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (*Waters*, EUA), acoplado a um detetor refratométrico (*Waters*, 2414), equipado com uma coluna *SugarPak I* (*Waters* 6,5 X 300 mm) e pré-colunas (*Wat* 088141), instalado com *SugarPak II inserts* (*Wat* 015209). A fase móvel utilizada foi água ultrapura com 50 ppm de EDTA de cálcio, com um fluxo de 0,5 mL.min⁻¹, e um volume de injeção de 40 µL. Procedeu-se à injeção das amostras, sendo os dados analisados com o *software Breeze* (**Figura 2.4**) e a quantificação efetuada com base nas curvas de calibração dos açúcares em análise.

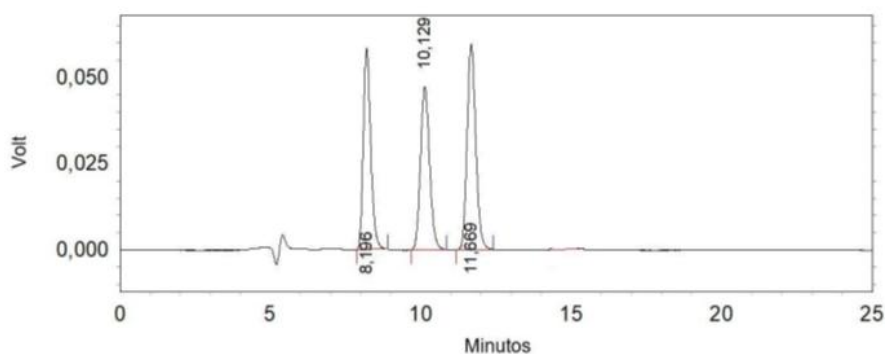


Figura 2.4 - Exemplo de um cromatograma com identificação dos tempos de saída da sacarose (8 minutos), glucose (10 minutos) e frutose (11 minutos), respetivamente.

2.7.2 Ácidos Gordos

A análise dos ácidos gordos foi realizada segundo o método descrito por Vidigal et al. (2018), com algumas modificações. Para cada casta, a partir de 3 - 4 cachos foram preparadas amostras compostas de vários bagos sem pedúnculo (ca. 5 g peso fresco) por tratamento (n = 3). As amostras foram armazenadas a -20°C. A composição em ácidos gordos foi determinada segundo o método de Vidigal et al. (2018), por transesterificação acídica direta adicionando à amostra 10 mL de uma solução de metanol:ácido sulfúrico (39:1,v:v), após adição de um padrão interno (ácido heptadecanóico, C17:0). Após este processo, os tubos (com rolha e septo de teflon), foram colocados em banho-maria (60 minutos, 70 °C) e depois de arrefecidos foi adicionado 10 mL de éter petróleo e 6,7 mL de H₂O destilada. Seguiu-se uma agitação em vortex e a decantação das amostras durante 1 h, retirando-se a fase superior (éter de petróleo), para frascos com tampa teflon. Os frascos foram postos a secar em banho-maria (40 °C), sob corrente de azoto, sendo ressuspensos em n-hexano (GC-grade). As amostras foram armazenadas (-80 °C) em *vials* com septo em teflon até injeção.

Os ácidos gordos esterificados foram analisados num cromatógrafo gás-líquido (*Varian* CP-3380, EUA), acoplado a um detetor de ionização de chama (*GC-FID*), e separados por meio de uma coluna capilar *Varian* (*CP-Wax 52 CB*). O grau de insaturação dos lípidos, ‘*double bond index*’ (DBI), reflete a abundância relativa dos ácidos gordos (AG) mono e polinsaturados em relação aos AG saturados foi calculado de acordo com Mazliak (1983), através da equação (2.4).

$$DBI = \frac{\%monoenes + 2 * \%dienes + 3 * \%trienes}{\%AG saturados} \quad (2.4)$$

2.8 Análises de Textura

A textura foi realizada no primeiro e terceiro ano de ensaio experimental, sendo que no primeiro ano foram escolhidas duas castas de uva (uma representativa de uma casta branca e outra de uma casta tinta, a Fernão Pires e Syrah, respetivamente) e no último ano foram consideradas as quatro castas em estudo. As uvas foram selecionadas por uniformidade de tamanho e cor visual. Com recurso a um texturómetro “*Texture Analyser Model TAHDiR*” (*Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido*), com uma célula de carga de 5 kg “*Interchangeable Low Force Load Cells Model LC/25*”, realizou-se a análise através da penetração na película e na polpa dos bagos de uva (10 por amostra), com uma sonda cilíndrica de alumínio de 2 mm de diâmetro à temperatura de 20 °C. As condições de teste programadas foram: velocidade de teste 1 mm.s⁻¹, profundidade de penetração da sonda 10 mm. Foram assim obtidos os gráficos força em função da variável tempo (**Figura 2.5**), onde se calcularam os parâmetros dureza (N), ou seja a força máxima obtida durante a penetração, trabalho de penetração (N.s), ou seja a área correspondente à componente positiva do gráfico e firmeza da polpa (N), ou seja a área média referente à parte positiva do gráfico, excluindo a influência inicial da película e as regiões onde foi detetada resistência da película.

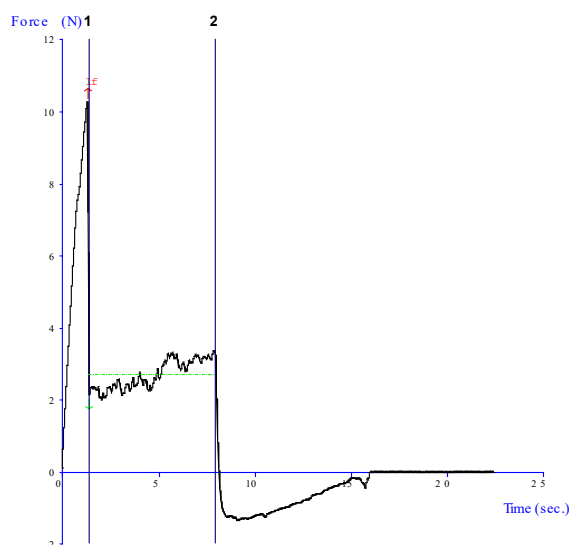


Figura 2.5 - Texturograma tipo para determinação da dureza (força máxima do gráfico), do trabalho de penetração (área positiva do gráfico) e da firmeza da polpa (força média entre as ancoras 1 e 2), que corresponda à resistência da polpa.

2.9 Análises Sensoriais

Tal como para a análise da textura (subcapítulo 2.8), no primeiro ano foi realizada uma avaliação sensorial na casta Fernão Pires e Syrah. Esta análise foi realizada com um painel semi-treinado de provadores, no laboratório de análise sensorial da unidade de tecnologia e inovação do INIAV, individualmente em cabines (**Figura 2.6**), segundo a NP 4258:1993 (ISO 8589:1988).



Figura 2.6 - Exemplo do aspeto geral na sala de provas sensoriais.

A prova consistiu na colocação de quatro bagos de uvas, das diferentes amostras, em placas de Petri identificadas com três dígitos. Para cada casta, foram fornecidas amostras controlo e também amostras biofortificadas em Zn, sendo pedido para classificarem as mesmas atribuindo nota aos atributos sensoriais presentes na ficha de prova (aparência, cor, textura, aroma/sabor e apreciação global com base numa escala hedónica 5 pontos pré-estabelecida variando gradativamente desde “Desgostei muito” a “Gostei muito”) (*cf.* Anexo A.4).

No segundo ano do ensaio experimental, procedeu-se a provas triangulares (*cf. Anexo A.3*), segundo a Norma ISO 4120, onde foi utilizado um painel treinado de 12 provadores, segundo as Normas ISO 8586-1 (1993) e ISO 8586 (2012), utilizando instalações como requeridas na ISO 8589 (1988). Esta avaliação não foi efetuada na casta Syrah com ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ e Fernão Pires com ambos os fertilizantes de Zn, por estas se encontrarem em condições não próprias para consumo aquando da sua receção. A prova compreendeu a apresentação de três amostras de cada casta, codificadas por três dígitos, sendo duas das amostras iguais (amostras controlo) e uma terceira amostra diferente, uva biofortificada (amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn). Os provadores para esta análise, deveriam indicar na respetiva folha de provas, qual das amostras era diferente em relação a todas as características olfator-gustativas (aparência, cheiro, sabor e aroma). A probabilidade de se escolher a amostra diferente dentre das três apresentadas é $p = 1 / 3$.

2.10 Vinho Produzido com as Uvas Biofortificadas em Zn

A microvinificação das uvas biofortificadas, decorreu na Adega Cooperativa de Palmela, seguindo os habituais processos dos vinhos produzidos com estas castas, com algumas adaptações. Os protocolos de produção dos mesmos não se encontram descritos pois são da autoria da empresa. Nos três anos do projeto, realizou-se a produção de vinho no primeiro e no último ano, de forma a averiguar numa primeira fase quais seriam os resultados ao biofortificar a uva em zinco para a microvinificação, e no último ano para realizar uma otimização do processo. O vinho controlo, para termos comparativos, foi considerado aquele já produzido pela adega segundo a mesma metodologia (portanto com recurso ao Protocolos da Adega Cooperativa de Palmela). As análises do vinho também foram realizadas nos laboratórios da referida adega, exceto a determinação de elementos minerais e análise sensorial.

2.10.1 Determinação da Acidez Volátil, Acidez Total e pH

Para a determinação dos parâmetros de acidez volátil, acidez total e pH, foi utilizada a espectroscopia FTIR (espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier), através do aparelho Auto Nebulizador *Foss OenoFoss*TM acoplado a um computador. Para tal procedeu-se à limpeza da célula (local onde se irá colocar a amostra) e elaborou-se a reta de calibração com dados dos anos anteriores, para assegurar o bom funcionamento do equipamento. A amostra foi recolhida com recurso a uma pipeta Pasteur, e colocada na célula, onde passa a radiação infravermelha, situada na câmara do auto nebulizador *OenoFoss*TM. De seguida, utilizando o computador com o *software Foss Integrator*TM, selecionaram-se os parâmetros a testar, que neste estudo foram a acidez total, a acidez volátil, o pH e o grau alcoólico.

2.10.2 Determinação do Dióxido de Enxofre Livre e Total

Para a quantificação do dióxido de enxofre livre e total, foi adotado o método de Ripper com algumas alterações. Este método baseia-se numa titulação que promove a acidificação da amostra, de modo reduzir a taxa de desassociação dos sulfitos em solução. Na determinação do dióxido de enxofre livre, equação (2.5), colocou-se num erlenmeyer 25 mL de amostra, 1 mL de solução de amido a 1 % (v/v) para marcar o ponto de viragem da titulação e 5 mL de solução de ácido sulfúrico 25 % (v/v). Com recurso a uma bureta com uma solução de iodo 0.02 N, procedeu-se à titulação da amostra. A titulação terminou, quando ocorreu a mudança de cor para azul, obtendo-se a confirmação visual do ponto de viragem e registando-se o volume de titulante usado. A concentração de dióxido de enxofre livre foi determinada utilizando a equação:

$$SO_2 \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Volume } I_2 \text{ utilizado (mL)} \times \text{Concentração } I_2 \times M(SO_2) \times 1000}{\text{Volume da amostra}} \quad (2.5)$$

De forma a determinar o dióxido de enxofre total, o procedimento adotado foi semelhante ao já descrito, mas adicionaram-se 30 mL de uma solução de hidróxido de sódio 1M, para efetuar a titulação em meio básico. Adicionalmente, antes do início da titulação também se adicionou 1 grama de bicarbonato de sódio, para que o ião bicarbonato (CO_3^-) pudesse neutralizar alguma reação indesejada que pudesse interferir com a determinação do dióxido de enxofre total) (OIV, 2022).

2.10.3 Determinação de Elementos Minerais

A quantificação dos elementos minerais no vinho ($n = 3$), foi realizada no último ano (terceiro ano) de ensaio experimental, através da metodologia reportada por Reboredo et al. (2018). Como mencionado no subcapítulo 2.6.5.2 recorreu-se a um espectrofotómetro de absorção atómica (modelo *Perkin Elmer AAnalyst 200*, EUA), e *software AA WinLab*. Aponte-se que no caso dos vinhos, as amostras podem ser diretamente lidas sem qualquer preparação prévia. O aparelho foi previamente calibrado para cada elemento mineral (Ca, K, Mg, Fe, Cu e Zn) com diferentes soluções padrão (em HCl 2 %) obtendo-se as retas de calibração.

2.10.4 Análise Sensorial

No primeiro ano de ensaio experimental, realizaram-se provas hedónicas dos vinhos biofortificados em Zn (cf. **Anexo A.5**), tendo sido compostas por um painel de 14 pessoas (5 mulheres e 9 homens, com idades compreendidas entre os 44 - 63 anos e 30 - 64, respetivamente para ambos os sexos).

Tal como no terceiro ano de ensaio experimental, foram realizadas provas hedónicas para os vinhos brancos (*cf.* **Anexo A.5**), utilizando-se um painel de 10 pessoas (7 mulheres e 3 homens, com idades compreendidas entre os 24 - 65 anos e 54 - 65, respetivamente) e nos vinhos tintos por um painel de 19 pessoas (11 mulheres e 8 homens, com idades compreendidas entre os 20 - 66 anos e 21 - 66, respetivamente).

2.11 Tratamento Estatístico

A análise estatística dos resultados experimentais, foi elaborada com recurso ao programa *IBM SPSS Statistics 20* e *Microsoft Excel* quando o número de variáveis era inferior a três. Para um estudo comparativo de médias, usou-se uma análise de variância (ANOVA) com uma ou duas variáveis (*One-way* e *Two-way*, respetivamente) e aplicou-se o teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$), considerando-se um nível de confiança de 95%.

RESULTADOS

3.1 Primeiro Ano de Ensaio

3.1.1 Solo e Água de Irrigação

As características físicas e químicas dos solos (**Tabela 3.1**), a par da composição mineral (**Tabela 3.1**), podem interferir diretamente no processo de biofortificação dos frutos, tendo-se efetuado a sua caracterização (com recurso a pontos de amostragem – **Figura 3.1**), considerando os teores de humidade, MO, pH, CE, índices colorimétricos e elementos minerais nas parcelas da Biscaia (27 de julho), Lagameças (1 de agosto), Lau novo (1 de agosto) e Lau Velho (1 de agosto).

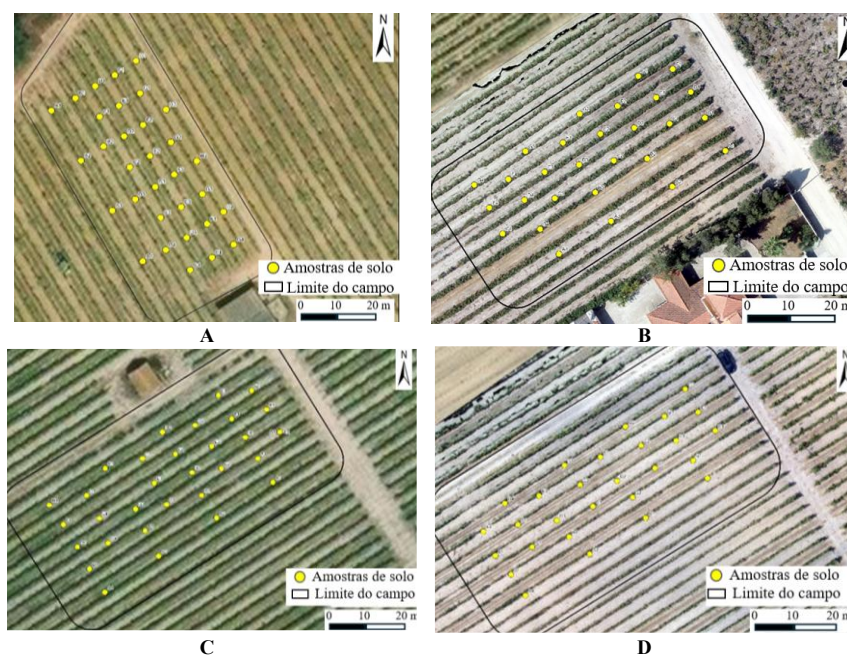


Figura 3.1 - Pontos de amostragem dos solos nos quatro campos em estudo. A – Campo Biscaia (casta Syrah); B – Campo Lagameças (casta. Castelão); C – Campo Lau Novo (casta Moscatel); D – Campo Lau Velho (casta Fernão Pires).

Neste enquadramento, constatou-se que o campo da Biscaia apresentava (**Tabela 3.1**), face aos restantes campos experimentais, um teor de MO e CE significativamente mais elevado, a par do pH mais baixo. Adicionalmente, o Lau Novo apresentava (**Tabela 3.1**), face aos restantes campos, um pH intermédio.

Em termos dos parâmetros colorimétricos (**Tabela 3.1**), verificou-se que numa fase prévia à remoção da MO a luminosidade é significativamente inferior no campo do Lau Velho. Por oposição, no campo da Biscaia predominou significativamente o vermelho / amarelo. Após remoção da MO, a luminosidade do solo foi significativamente diferente nos quatro campos experimentais, predominando um valor superior no campo do Lau Novo e um inferior no campo da Biscaia. Salienta-se também no campo da Biscaia uma predominância do vermelho e amarelo, enquanto que os campos do Lau Novo e Lau Velho apresentam valores significativamente inferiores.

Tabela 3.1 - Valores médios \pm erro padrão das características físicas e químicas dos solos dos quatro campos experimentais (Biscaia, n = 32; Lagameças, Lau Novo e Lau Velho, n = 28). As letras a - d indicam diferenças significativas para cada parâmetro entre os campos experimentais (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Campos | pH | CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) | Humidade (%) | MO | Parâmetros colorimétricos com MO | | | Parâmetros colorimétricos sem MO | | |
|-----------|-------------------|--------------------------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | L | a* | b* | L | a* | b* |
| Biscaia | 6,51 \pm 0,00c | 186 \pm 3a | 8,04 \pm 0,03a | 3,14 \pm 0,02a | 45,7 \pm 0,1ab | 7,58 \pm 0,04a | 24,1 \pm 0,1a | 45,8 \pm 0,1d | 21,4 \pm 0,0a | 31,1 \pm 0,1a |
| Lagameças | 7,08 \pm 0,02a | 101 \pm 1b | 5,65 \pm 0,04b | 1,48 \pm 0,02b | 46,8 \pm 0,2a | 2,85 \pm 0,03b | 13,5 \pm 0,1b | 60,5 \pm 0,1c | 13,3 \pm 0,1b | 28,7 \pm 0,1b |
| Lau Novo | 6,80 \pm 0,01b | 72 \pm 1b | 5,12 \pm 0,02b | 1,09 \pm 0,01b | 47,8 \pm 0,1a | 2,67 \pm 0,01b | 12,6 \pm 0,0b | 66,5 \pm 0,1a | 11,0 \pm 0,0d | 26,6 \pm 0,1c |
| Lau Velho | 6,85 \pm 0,01ab | 93 \pm 3b | 5,30 \pm 0,04b | 1,36 \pm 0,03b | 44,1 \pm 0,2b | 2,76 \pm 0,04b | 12,1 \pm 0,1b | 64,4 \pm 0,1b | 12,0 \pm 0,1c | 26,5 \pm 0,1c |

Através da análise do teor em elementos minerais no solo (**Figura 3.2**), o teor em Zn destacou-se com um valor significativamente superior no campo experimental do Lau Velho, relativamente aos restantes campos.

Os níveis de Cu e Mn também revelaram a mesma tendência (no entanto, para o Cu, o campo experimental do Lagameças também apresentou valores significativamente superiores aos restantes dois (**Figura 3.2**). O teor em S destacou-se significativamente no campo experimental da Biscaia face aos restantes (**Figura 3.2**), embora se tenham verificado diferenças significativas entre todos os campos, ainda que na seguinte ordem de grandeza: Biscaia > Lagameças > Lau Velho > Lau Novo.

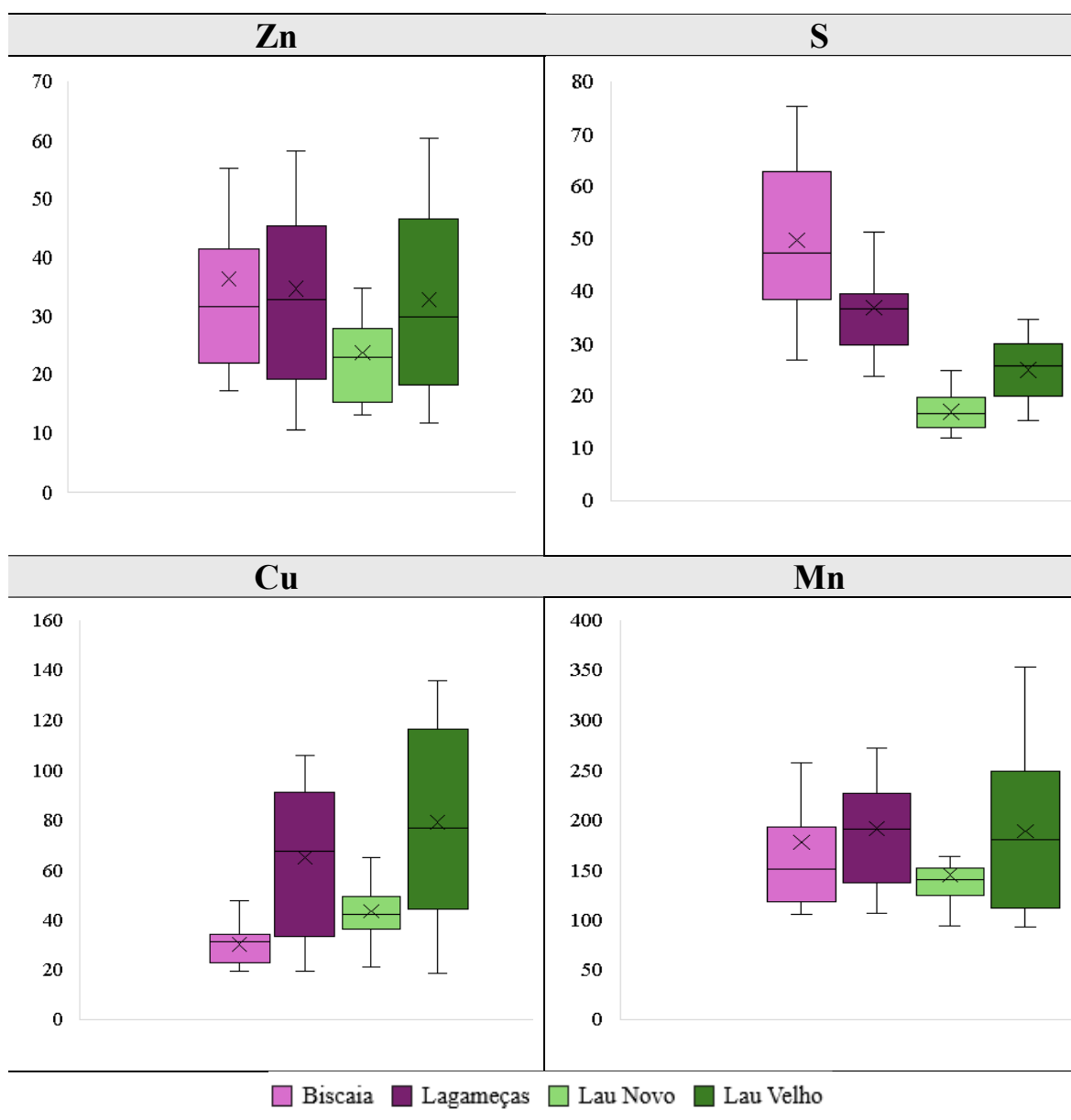


Figura 3.2 - Valores médios (mg.kg^{-1}) e erro padrão de elementos minerais constituintes do solo (Zn, S, Cu e Mn) dos quatro campos experimentais (não considerando os *outliers*).

Os níveis de Ca foram significativamente superiores nos campos experimentais da Biscaia, Lagameças e Lau Velho (**Figura 3.3**), relativamente ao campo do Lau Novo (não se observando diferenças significativas entre estes campos). O elemento K, predominou no campo Lau Velho, variando os teores significativamente na seguinte sequência: Lau Velho > Lau Novo > Lagameças > Biscaia (**Figura 3.3**). Considerando os teores de P e Fe, estes elementos foram significativamente superiores no campo do Lau Novo e Biscaia, respetivamente (sendo de evidenciar o valor de Fe apresentado no campo Biscaia), não apresentando diferenças entre os restantes campos (**Figura 3.3**).

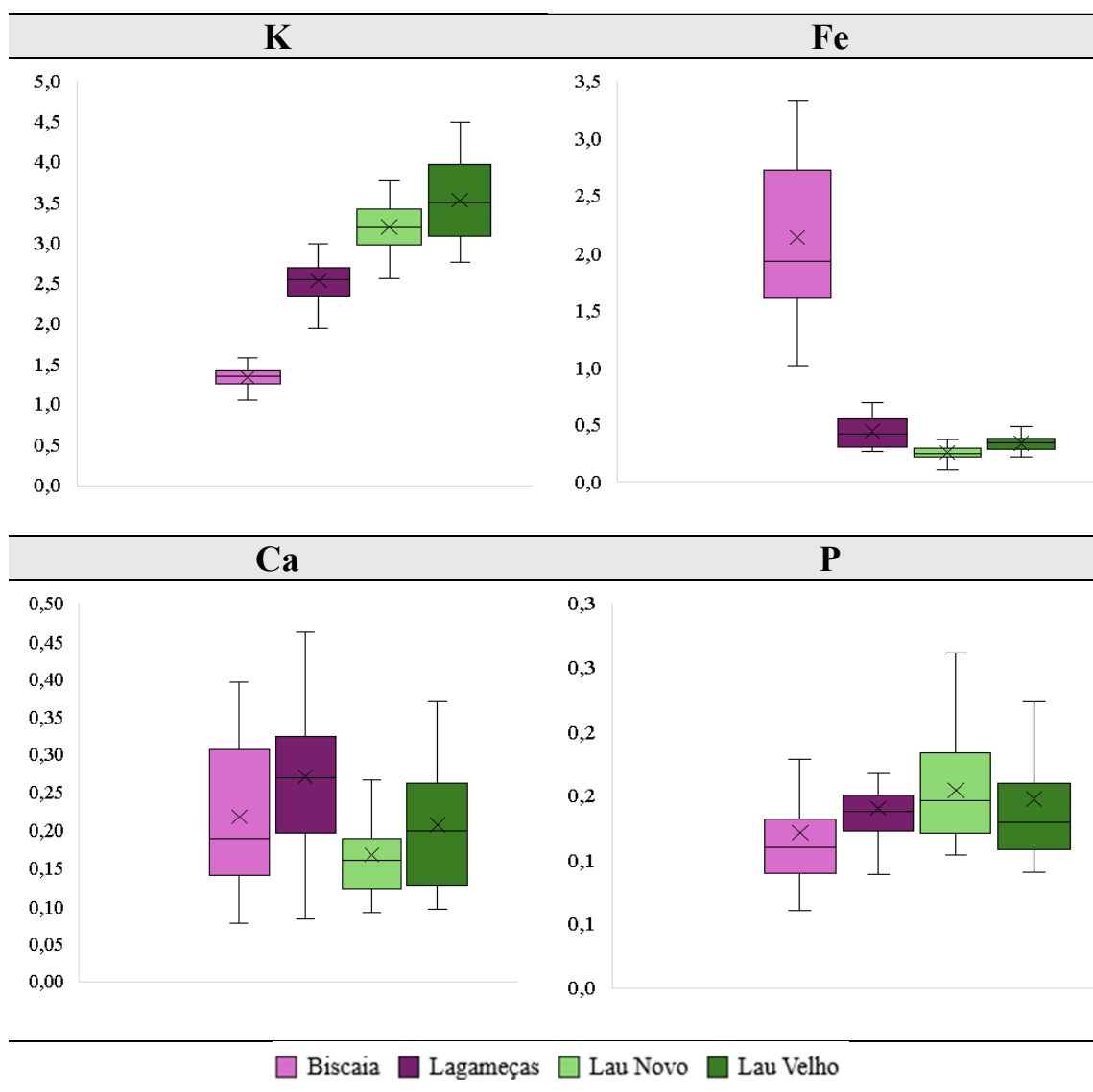


Figura 3.3 - Valores médios (%) e erro padrão de elementos minerais constituintes do solo (K, Fe, Ca e P) dos quatro campos experimentais (não considerando os *outliers*).

A água de irrigação ao campo experimental do Lau Novo é de origem subterrânea. Esta foi analisada considerando parâmetros físicos e químicos (**Tabela 3.2**). Foi feita a sua classificação iónica em termos de iões dominantes, segundo a metodologia proposta por Piper (**Figura 3.4 - A**) e classificada a sua adequação para uso agrícola, segundo a projeção de Wilcox (**Figura 3.4 - B**), que considera o índice SAR e a condutividade elétrica da água.

A água de irrigação à vinha é de fácies hidroquímica cloretada sulfatada sódica e pertence à classe C2S1 (**Figura 3.4**), apresentando salinidade intermédia (condutividade elétrica entre 250 e 750 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a 20 °C) e baixo teor de sódio (índice SAR igual a 1,52). O índice de Langelier (ISL) foi de -

3,1, classificando-se a água como muito corrosiva, tendo uma ação efetiva de dissolução do carbonato de cálcio, situando-se o pH de saturação (pHs) em 9,3 (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação do campo experimental do Lau Novo, obtidos na recolha do primeiro ano de ensaio experimental.

| Parâmetro | Água de irrigação do Lau Novo | |
|------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| CE | 252 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 20 °C | |
| pH | 6,2 | |
| | ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) | ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) |
| Ca^{2+} | 8,5 | 0,4 |
| Mg^{2+} | 4,3 | 0,3 |
| Na^+ | 21,7 | 0,9 |
| K^+ | 3,9 | 0,1 |
| HCO_3^- | 34,7 | 0,5 |
| Cl^- | 34,7 | 0,9 |
| SO_4^{2-} | 33 | 0,6 |
| NO_3^- | 17,4 | 0,2 |
| PO_4^{3-} | < 1,5 | < 0,04 |
| Classificação de Piper | Cloretada sulfatada sódica | |
| Índice SAR | 1,52 | |
| pHs | 9,3 | |
| ISL | -3,1 | |

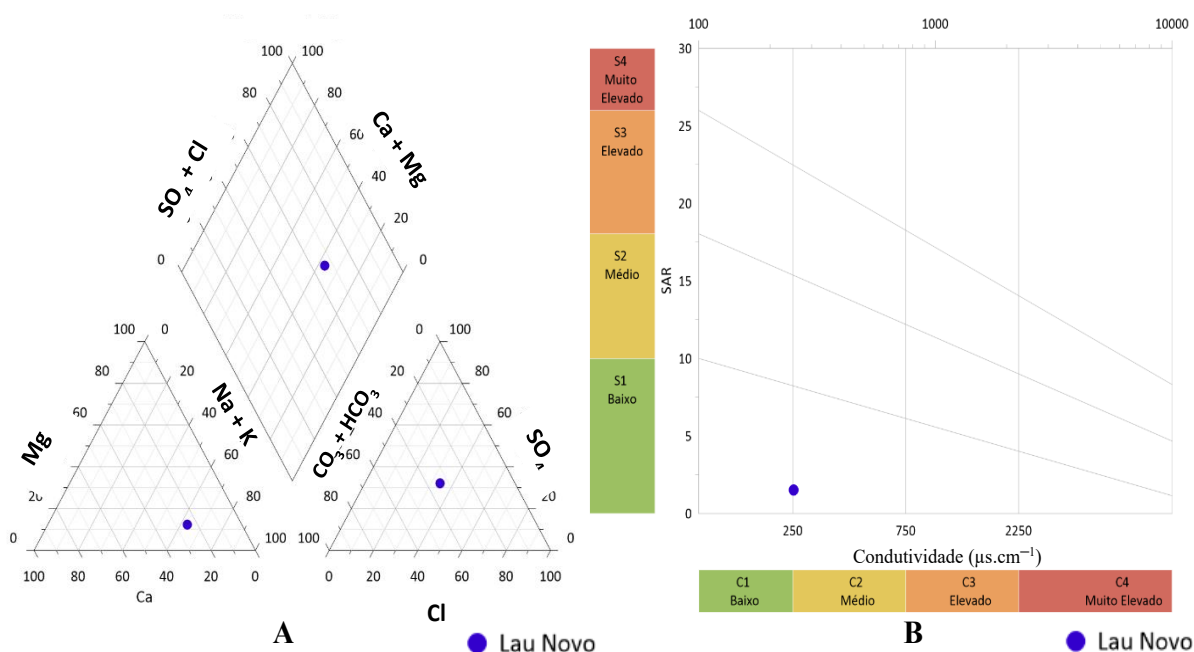


Figura 3.4 - Projeção da composição da água em termos dos iões dominantes da água de irrigação do campo experimental Lau Novo (casta Moscatel), do primeiro ano de ensaio experimental. A- Diagrama de Piper e B- Diagrama de Wilcox.

3.1.2 Condicionantes Meteorológicas e Fitossanidade

No primeiro ano de ensaio experimental, recolheram-se dados das condições meteorológicas (informação diária reportada entre janeiro e dezembro). O período de ensaio experimental dos quatro campos, decorreu entre 16 de junho (data da primeira pulverização) e 6 de outubro (data da última colheita), sendo caracterizado por uma temperatura média máxima e mínima de 28 °C e 17 °C, respetivamente (onde se registou valores mínimos e máximos de 11 °C e 44 °C) (**Figura 3.5**).

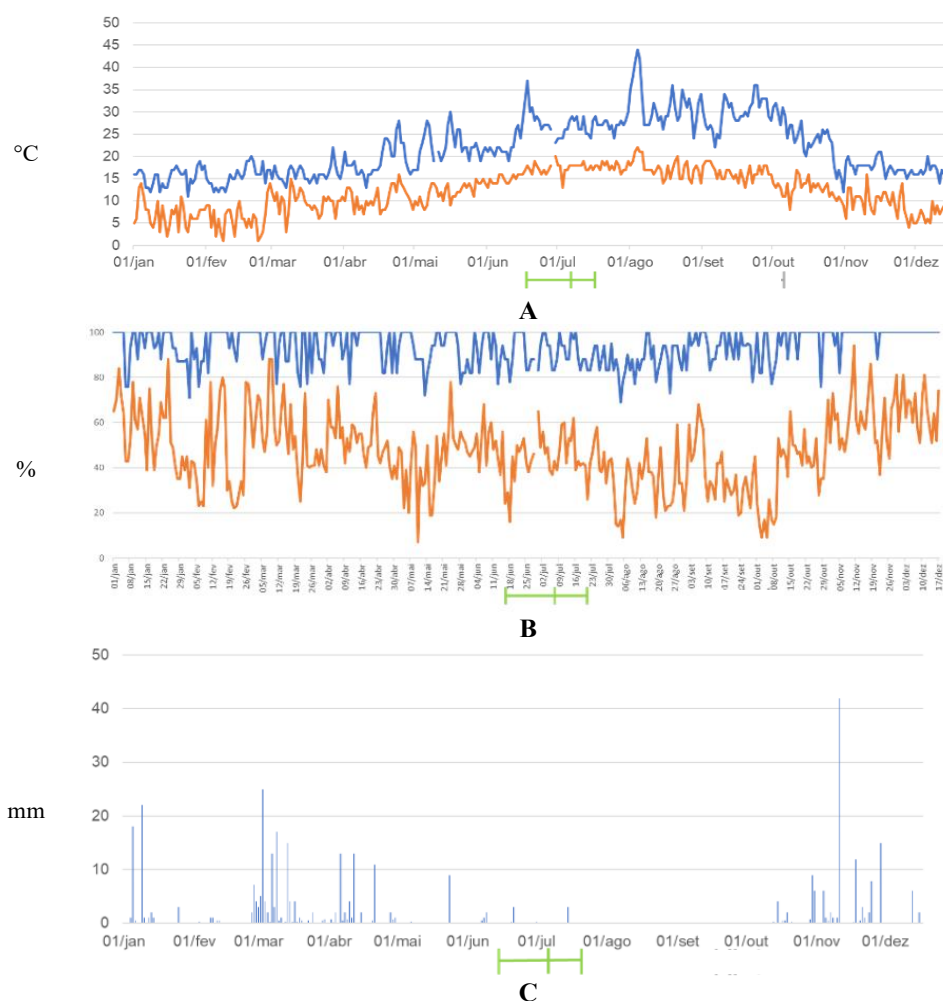


Figura 3.5 - Temperatura, humidade e precipitação acumulada na região dos campos experimentais ao longo do primeiro ano de ensaio. **A**- Temperatura máxima (azul) e mínima (laranja) diária; **B**- Humidade máxima (azul) e mínima (laranja) diária; **C**- Precipitação acumulada diária. O período discriminado a verde corresponde aos dias de pulverização foliar dos quatro campos experimentais.

A humidade máxima e mínima do ar, registada no período experimental, foi de 100 % e 9 %, respetivamente (sendo que a média dos valores máximos e mínimos foi 90 % e 38 %, respetivamente) (**Figura 3.5**).

Relativamente à precipitação total acumulada obteve-se 6,6 mm (com um máximo diário de 3,05 mm), a que corresponde a média diária 0,06 mm (**Figura 3.5**).

Nos quatro campos experimentais, o itinerário para biofortificação da uva em Zn adotou o conjunto de ações usuais para a vinha (*i.e.*, nas castas: branca Fernão Pires – Lau Velho, sem irrigação; tinta Castelão – Lagameças, sem irrigação; branca Moscatel – Lau Novo, com irrigação; tinta Syrah – Biscaia, com irrigação). Aponte-se que, as vinhas dos quatro campos experimentais foram adubadas com matéria orgânica. Apresentam-se (**Figura 3.6**) alguns aspetos visuais observados no primeiro ano, durante a segunda recolha efetuada (após a 2ª pulverização).

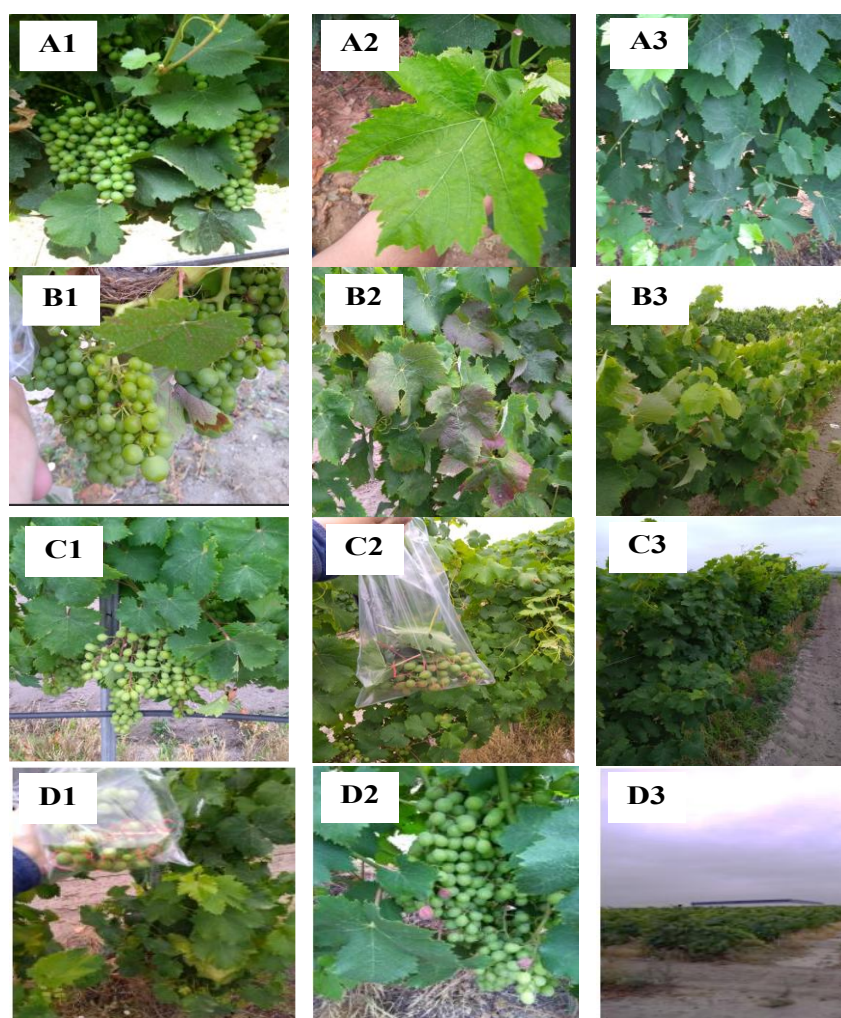


Figura 3.6 - Fotografias de aspetos visuais observados das quatro castas nos diferentes campos experimentais na primeira recolha, realizada no primeiro ano de ensaio experimental (12 de julho), após a 2ª pulverização. **A1–A3**- (Campo Biscaia, casta Syrah); **B1–B3** (Campo Lagameças, casta Castelão); **C1–C3** (Campo Lau Novo, casta Moscatel); **D1–D3** (Campo Lau Velho, casta Fernão Pires).

3.1.3 Parâmetros Fotossintéticos – Trocas Gasosas Foliare e Parâmetros de Clorofila a

As análises das trocas gasosas foliáres, e os parâmetros de fluorescência de clorofila a , decorreram, para os quatro campos experimentais, entre 27 de julho a 13 de setembro, após as pulverizações foliáres (3ª pulverização foliar) com diferentes concentrações de ZnO ou ZnSO₄.

Neste enquadramento, apresentam-se os valores das trocas gasosas foliáres das castas dos quatro campos experimentais (**Tabela 3.3 -3.6**), nomeadamente dos seguintes parâmetros: taxa de fotossíntese líquida (P_n), taxa de condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E) e eficiência instantânea do uso de água ($iWUE$).

Na casta Syrah (**Tabela 3.3**), observou-se um ligeiro impacto na P_n (embora não significativo) nas amostras com ZnO (por oposição ao ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, que apresentou o valor mais elevado), mas apenas na primeira data de avaliação (27 de Julho). Este resultado é complementado com os menores valores de g_s para as amostras com ZnO (*i.e.*, que indicam uma menor abertura estomática), sendo de realçar que também não foram significativos. Por outro lado, na segunda data de avaliação (**Tabela 3.3**) com a amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, assinala-se um aumento significativo do valor de P_n comparativamente ao controlo (sendo que ambos os fertilizantes nas concentrações máximas levaram a um aumento de P_n). Considerando o parâmetro g_s , apenas o ZnO (900 g.ha⁻¹) revelou um valor significativamente superior face ao controlo. No parâmetro E (**Tabela 3.3**) destacam-se, face ao controlo, diferenças significativas com a amostra pulverizada com ZnO - 900 g.ha⁻¹ na primeira data de avaliação, e com as amostras com ZnO e o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹ na segunda data de avaliação. Relativamente ao $iWUE$ (**Tabela 3.3**), em ambas as datas de avaliação, verificou-se, comparativamente ao controlo, um aumento significativo entre as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn (exceto com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹).

Entre as datas de análise (**Tabela 3.3**), em geral, na segunda data observam-se valores de P_n significativamente inferiores. Por outro lado, no parâmetro g_s (**Tabela 3.3**) apenas as amostras com ZnO aumentaram significativamente na segunda data de avaliação. Relativamente ao parâmetro E e $iWUE$ (**Tabela 3.3**), os valores entre datas, respetivamente, aumentaram e diminuíram significativamente, sendo de evidenciar que no parâmetro E ocorreram exceções nomeadamente no ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹ e no ZnO - 900 g.ha⁻¹.

Tabela 3.3 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 27 julho | 13 setembro |
|--------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
| | | P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 17,5 \pm 0,0 aA | 13,6 \pm 0,4 bB |
| ZnO | 450 | 16,4 \pm 0,1 abA | 13,7 \pm 0,1 bB |
| | 900 | 15,1 \pm 0,2 bA | 15,3 \pm 0,7 abA |
| ZnSO ₄ | 450 | 17,7 \pm 0,5 aA | 12,7 \pm 0,5 bB |
| | 900 | 18,2 \pm 0,2 aA | 15,5 \pm 0,3 aB |
| | | g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 146,0 \pm 1,7 aA | 201,3 \pm 5,8 bA |
| ZnO | 450 | 131,0 \pm 2,9 aB | 197,8 \pm 4,4 bA |
| | 900 | 126,8 \pm 5,2 aB | 263,7 \pm 39,9 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 151,0 \pm 3,9 aA | 167,3 \pm 21,4 bA |
| | 900 | 150,7 \pm 4,6 aA | 201,2 \pm 9,9 bA |
| | | E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 4,5 \pm 0,0 aB | 5,4 \pm 0,1 aA |
| ZnO | 450 | 3,9 \pm 0,0 abB | 4,6 \pm 0,1 bA |
| | 900 | 3,7 \pm 0,1 bA | 4,3 \pm 0,3 bA |
| ZnSO ₄ | 450 | 4,2 \pm 0,1 abA | 4,6 \pm 0,3 bA |
| | 900 | 4,3 \pm 0,1 aB | 5,1 \pm 0,1 aA |
| | | $iWUE$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) | |
| Controlo | 0 | 3,9 \pm 0,0 bA | 2,5 \pm 0,0 cB |
| ZnO | 450 | 4,2 \pm 0,1 aA | 3,0 \pm 0,0 bB |
| | 900 | 4,2 \pm 0,1 aA | 3,6 \pm 0,2 aB |
| ZnSO ₄ | 450 | 4,2 \pm 0,1 aA | 2,8 \pm 0,1 bcB |
| | 900 | 4,2 \pm 0,1 aA | 3,1 \pm 0,0 bB |

A casta Castelão, na primeira data de avaliação (**Tabela 3.4**), apresentou um decréscimo significativo da P_n , nas amostras com ZnSO₄ e, na segunda data de avaliação (**Tabela 3.4**), comparativamente ao controlo, este decréscimo ocorreu com ambos os fertilizantes de Zn e em todas as concentrações. Esta tendência de P_n ocorreu similarmente com g_s , nas mesmas amostras e datas de avaliação. Relativamente a E (**Tabela 3.4**), observaram-se reduções significativas em ambas as datas de avaliação (exceto na amostra com ZnO - 450 g.ha⁻¹ em ambas as datas de avaliação e com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ na segunda data de avaliação). A conjugação dos resultados de P_n e E, evidenciaram na primeira data de avaliação no parâmetro $iWUE$ (**Tabela 3.4**), valores significativamente inferiores no controlo e nas amostras com ZnSO₄, no entanto os fertilizantes de Zn levaram a uma redução generalizada na segunda data de avaliação.

Entre datas de avaliação (**Tabela 3.4**), observou-se um decréscimo em todos os parâmetros avaliados (P_n , g_s , E, $iWUE$). Tal como observado entre amostras, para o parâmetro P_n e g_s observou-se o mesmo comportamento, com um decréscimo em todas as amostras da primeira para a segunda data de

avaliação (exceto na amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹). Relativamente a E (**Tabela 3.4**), observaram-se valores significativamente inferiores entre a primeira e segunda data de avaliação nas amostras com ZnO - 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹, em contraste com a amostra pulverizada com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, onde ocorreu um aumento significativo no mesmo intervalo de tempo. Considerando o parâmetro iWUE (**Tabela 3.4**), apenas o controlo não decresceu significativamente entre as duas datas de avaliação.

Tabela 3.4 - Valores médios ± erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n, g_s, E, iWUE), em folhas (n = 4 – 6) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄, com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 1 agosto | 13 setembro |
|--------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------|---------------|
| | | P _n (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹) | |
| Controlo | 0 | 15,9±0,2 aA | 14,7±1,0 aA |
| ZnO | 450 | 17,1±0,2 aA | 11,5±0,4 bB |
| | 900 | 16,6±0,1 aA | 8,4±0,3 cB |
| ZnSO ₄ | 450 | 13,0±0,1 bA | 7,8±0,6 cB |
| | 900 | 12,8±0,1 bA | 11,6±0,1 bA |
| | | g _s (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) | |
| Controlo | 0 | 151,8±1,7 aA | 164,7±17,5 aA |
| ZnO | 450 | 175,0±3,2 aA | 129,5±7,4 bB |
| | 900 | 157,3±2,1 aA | 79,5±5,2 cB |
| ZnSO ₄ | 450 | 122,0±1,9 bA | 70,5±6,1 cB |
| | 900 | 125,8±0,5 bA | 142,0±2,2 abA |
| | | E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) | |
| Controlo | 0 | 5,3±0,0 aA | 4,9±0,3 aA |
| ZnO | 450 | 4,9±0,1 abA | 4,4±0,2 aA |
| | 900 | 4,4±0,0 bcA | 3,1±0,1 bB |
| ZnSO ₄ | 450 | 4,4±0,0 bcA | 3,1±0,2 bB |
| | 900 | 4,2±0,0 cB | 5,0±0,1 aA |
| | | iWUE (mmol CO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O) | |
| Controlo | 0 | 3,0±0,0 cA | 3,0±0,0 aA |
| ZnO | 450 | 3,5±0,1 bA | 2,6±0,0 bcB |
| | 900 | 3,8±0,0 aA | 2,7±0,0 bB |
| ZnSO ₄ | 450 | 3,0±0,0 cA | 2,5±0,0 cdB |
| | 900 | 3,0±0,0 cA | 2,3±0,0 dB |

Na casta Moscatel (**Tabela 3.5**), em 1 de agosto, não se observou qualquer impacto significativo na P_n com ambos os fertilizantes de Zn e qualquer das concentrações. Contudo, na medição de 13 de setembro observaram-se decréscimos com a concentração máxima de ZnO e, em geral, com a aplicação de ZnSO₄ (embora neste caso não sendo significativo face ao controlo). Estes efeitos poderão estar ligados ao impacto registado na g_s apenas na segunda data de avaliação (**Tabela 3.5**), que coincidiram com a amostra que apresentou um decréscimo significativo no parâmetro P_n (ZnO - 900 g.ha⁻¹), nos restantes casos não se verificou variações relevantes neste parâmetro. Similarmente, no parâmetro E, em ambas

as datas avaliadas (**Tabela 3.5**), apenas a amostra mencionada no P_n e g_s , apresentou diferenças significativas relativamente ao controlo. A conjugação dos resultados de P_n e E manteve os valores de $iWUE$ (**Tabela 3.5**) perto do respetivo controlo em todas as amostras (exceto no ZnO - 900 g.ha⁻¹) na primeira data de avaliação. Considerando a segunda data de avaliação (**Tabela 3.5**), apenas o ZnO - 450 g.ha⁻¹ se destacou com um valor significativamente superior face aos restantes (incluindo o controlo).

Entre datas (**Tabela 3.5**), apenas se verificaram diferenças significativas no parâmetro $iWUE$, onde ocorreu, de forma generalizada, uma redução da primeira para a segunda data avaliada.

Tabela 3.5 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E , $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 1 agosto | 13 setembro |
|--------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------|--------------------|
| | | P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 16,0 \pm 0,3 aA | 12,9 \pm 0,0 aA |
| ZnO | 450 | 16,6 \pm 0,0 aA | 12,8 \pm 0,4 aA |
| | 900 | 15,9 \pm 0,2 aA | 10,5 \pm 0,3 bA |
| ZnSO ₄ | 450 | 15,1 \pm 0,1 bA | 12,2 \pm 0,0 abA |
| | 900 | 15,5 \pm 0,2 abA | 11,3 \pm 1,1 abA |
| | | g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 117,2 \pm 2,8 bA | 151,3 \pm 2,8 aA |
| ZnO | 450 | 127,7 \pm 0,8 aA | 130,0 \pm 8,5 aA |
| | 900 | 117,3 \pm 1,6 bA | 98,3 \pm 6,1 bA |
| ZnSO ₄ | 450 | 116,7 \pm 1,9 bA | 141,5 \pm 1,1 aA |
| | 900 | 114,5 \pm 2,0 bA | 125,3 \pm 7,9 aA |
| | | E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 3,6 \pm 0,1 aA | 5,6 \pm 0,0 aA |
| ZnO | 450 | 3,6 \pm 0,0 aA | 5,0 \pm 0,2 aA |
| | 900 | 3,1 \pm 0,0 bA | 4,2 \pm 0,2 bA |
| ZnSO ₄ | 450 | 3,5 \pm 0,0 aA | 5,4 \pm 0,0 aA |
| | 900 | 3,5 \pm 0,1 aA | 4,9 \pm 0,2 abA |
| | | $iWUE$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) | |
| Controlo | 0 | 4,4 \pm 0,0 bcA | 2,3 \pm 0,0 bB |
| ZnO | 450 | 4,6 \pm 0,1 bA | 2,6 \pm 0,0 aB |
| | 900 | 5,1 \pm 0,1 aA | 2,5 \pm 0,0 abB |
| ZnSO ₄ | 450 | 4,3 \pm 0,1 cA | 2,3 \pm 0,0 bB |
| | 900 | 4,5 \pm 0,1 bcA | 2,3 \pm 0,1 bB |

A casta Fernão Pires (**Tabela 3.6**), na primeira data de avaliação entre amostras, apresentou um decréscimo significativo da P_n (exceto na amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹), comparativamente ao controlo. Similarmente, P_n na segunda data de avaliação (**Tabela 3.6**), verificou-se que a amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ foi a única que não apresentou diferenças significativas face ao controlo. Estes efeitos poderão estar ligados ao impacto registado na g_s , onde os valores significativamente mais baixos

correspondem aos mesmos mencionados para o parâmetro P_n (Tabela 3.6). O parâmetro E (Tabela 3.6), não apresentou diferenças significativas entre amostras na primeira data de avaliação, no entanto na segunda data de avaliação apenas a amostra com $ZnSO_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$ não apresentou diferenças significativas comparativamente ao controle. O parâmetro $iWUE$ (Tabela 3.6) apenas apresentou diferenças significativas na segunda data de avaliação com a amostra $ZnO - 900 \text{ g.ha}^{-1}$, evidenciando-se com um valor significativamente superior às restantes amostras (exceto na amostra com $ZnSO_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$). Desta forma, mantendo os valores de $iWUE$ perto do respetivo controlo.

Tabela 3.6 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E , $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 3ª pulverização foliar com ZnO , ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha^{-1}) | | 27 julho | 13 setembro |
|---------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
| | | P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 20,9 \pm 0,0 aA | 13,3 \pm 0,2 aB |
| ZnO | 450 | 18,1 \pm 0,5 bA | 8,1 \pm 0,7 bB |
| | 900 | 19,6 \pm 0,3 abA | 9,9 \pm 0,3 bB |
| ZnSO ₄ | 450 | 18,2 \pm 0,1 bA | 8,3 \pm 0,8 bB |
| | 900 | 18,2 \pm 0,0 bA | 14,8 \pm 0,9 aB |
| | | g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 244,0 \pm 1,2 aA | 118,5 \pm 1,1 aB |
| ZnO | 450 | 193,8 \pm 10,0 bA | 63,6 \pm 6,1 bB |
| | 900 | 223,0 \pm 5,3 aA | 73,9 \pm 2,4 bB |
| ZnSO ₄ | 450 | 190,3 \pm 5,3 bA | 58,9 \pm 3,8 bB |
| | 900 | 195,5 \pm 2,6 bA | 132,0 \pm 12,5 aB |
| | | E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 4,4 \pm 0,0 aA | 4,5 \pm 0,0 aA |
| ZnO | 450 | 3,9 \pm 0,1 aA | 2,5 \pm 0,2 bB |
| | 900 | 4,2 \pm 0,1 aA | 2,7 \pm 0,0 bB |
| ZnSO ₄ | 450 | 4,0 \pm 0,1 aA | 2,6 \pm 0,1 bB |
| | 900 | 4,0 \pm 0,0 aA | 4,4 \pm 0,3 aA |
| | | $iWUE$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) | |
| Controlo | 0 | 4,8 \pm 0,0 aA | 3,0 \pm 0,0 bB |
| ZnO | 450 | 4,6 \pm 0,1 aA | 3,2 \pm 0,0 bB |
| | 900 | 4,7 \pm 0,1 aA | 3,7 \pm 0,2 aB |
| ZnSO ₄ | 450 | 4,6 \pm 0,1 aA | 3,2 \pm 0,1 bB |
| | 900 | 4,6 \pm 0,0 aA | 3,4 \pm 0,0 abB |

Entre as datas de avaliação (Tabela 3.6), os parâmetros P_n , g_s e $iWUE$ apresentaram, de forma similar, valores significativamente superiores na primeira data de avaliação. O parâmetro E (Tabela 3.6) evidenciou diferenças significativas entre datas, com valores inferiores nas amostras com ZnO e o $ZnSO_4 - 450 \text{ g.ha}^{-1}$.

Para os parâmetros de clorofila a , determinou-se a eficiência fotoquímica máxima (F_v/F_m), e atual (F_v'/F_m'), do fotossistema (PS) II, as estimativas dos rendimentos quânticos do transporte fotosintético de electrões não-cíclico ($Y_{(II)}$), a dissipação regulada de energia no PSII ($Y_{(NPQ)}$) e a dissipação não regulada (calor e fluorescência) no PSII ($Y_{(NO)}$) e também os fatores de amortecimento (*quenching*) fotoquímico (q_L), e *quenching* não-fotoquímico (q_N) (**Tabelas 3.7 - 3.10**).

Na casta Syrah (**Tabela 3.7**), no que respeita ao parâmetro F_v/F_m denotou-se a ausência de impacto negativo significativo (ou algum tipo de variação consistente) nas duas datas avaliadas. Relativamente aos parâmetros F_v'/F_m' , $Y_{(NO)}$, $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, q_L e q_N , em ambas as datas avaliadas, comparativamente ao controlo, não se observam variações significativas com a aplicação dos fertilizantes.

Entre as datas avaliadas, não ocorreram diferenças significativas, em nenhum dos parâmetros analisados (**Tabela 3.7**).

Tabela 3.7 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPO)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 27 julho | 13 setembro |
|--------------------------------|-----|-----------------------|----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,770 \pm 0,003 aA | 0,806 \pm 0,004 aA |
| ZnO | 450 | 0,791 \pm 0,004 aA | 0,798 \pm 0,005 aA |
| | 900 | 0,767 \pm 0,007 aA | 0,780 \pm 0,013 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,796 \pm 0,007 aA | 0,803 \pm 0,010 aA |
| | 900 | 0,787 \pm 0,011 aA | 0,792 \pm 0,007 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,451 \pm 0,031 aA | 0,486 \pm 0,032 aA |
| ZnO | 450 | 0,446 \pm 0,027 aA | 0,453 \pm 0,036 aA |
| | 900 | 0,557 \pm 0,035 aA | 0,488 \pm 0,013 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,535 \pm 0,027 aA | 0,516 \pm 0,025 aA |
| | 900 | 0,450 \pm 0,030 aA | 0,472 \pm 0,019 aA |
| | | $Y_{(II)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,358 \pm 0,033 abA | 0,325 \pm 0,010 aA |
| ZnO | 450 | 0,295 \pm 0,020 bA | 0,248 \pm 0,027 aA |
| | 900 | 0,412 \pm 0,028 aA | 0,302 \pm 0,032 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,400 \pm 0,018 aA | 0,274 \pm 0,030 aA |
| | 900 | 0,268 \pm 0,021 bA | 0,253 \pm 0,024 aA |
| | | $Y_{(NPO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,442 \pm 0,039 abA | 0,483 \pm 0,026 aA |
| ZnO | 450 | 0,546 \pm 0,019 aA | 0,520 \pm 0,034 aA |
| | 900 | 0,403 \pm 0,033 bA | 0,478 \pm 0,028 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,401 \pm 0,026 bA | 0,503 \pm 0,028 aA |
| | 900 | 0,512 \pm 0,023 abA | 0,522 \pm 0,023 aA |
| | | $Y_{(NO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,199 \pm 0,009 aA | 0,193 \pm 0,018 aA |
| ZnO | 450 | 0,158 \pm 0,009 aA | 0,232 \pm 0,014 aA |
| | 900 | 0,184 \pm 0,016 aA | 0,221 \pm 0,008 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,199 \pm 0,013 aA | 0,223 \pm 0,012 aA |
| | 900 | 0,214 \pm 0,014 aA | 0,225 \pm 0,006 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | | 0,809 \pm 0,031 aA | 0,823 \pm 0,030 aA |
| ZnO | 450 | 0,873 \pm 0,012 aA | 0,819 \pm 0,027 aA |
| | 900 | 0,768 \pm 0,035 aA | 0,801 \pm 0,012 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,772 \pm 0,028 aA | 0,801 \pm 0,021 aA |
| | 900 | 0,827 \pm 0,020 aA | 0,819 \pm 0,013 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | | 0,684 \pm 0,049 aA | 0,516 \pm 0,056 aA |
| ZnO | 450 | 0,538 \pm 0,073 aA | 0,403 \pm 0,042 aA |
| | 900 | 0,564 \pm 0,055 aA | 0,460 \pm 0,058 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,586 \pm 0,047 aA | 0,358 \pm 0,052 aA |
| | 900 | 0,478 \pm 0,060 aA | 0,379 \pm 0,032 aA |

A casta Castelão (**Tabela 3.8**), para todos os parâmetros de clorofila a , não apresentou variações significativas entre amostras em cada data de avaliação.

Ainda assim, na primeira data F_v/F_m , mostrou uma tendência para manter valores superiores na concentração mais alta de ambos os fertilizantes.

Tabela 3.8 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPO)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre amostras para cada parâmetro. Já as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 1 agosto | 13 setembro |
|--------------------------------|-----|----------------------|----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,826 \pm 0,005 aA | 0,810 \pm 0,007 aA |
| ZnO | 450 | 0,831 \pm 0,007 aA | 0,818 \pm 0,005 aA |
| | 900 | 0,826 \pm 0,006 aA | 0,813 \pm 0,006 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,816 \pm 0,006 aA | 0,808 \pm 0,011 aA |
| | 900 | 0,811 \pm 0,008 aA | 0,813 \pm 0,010 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,454 \pm 0,010 aA | 0,401 \pm 0,035 aA |
| ZnO | 450 | 0,433 \pm 0,005 aA | 0,417 \pm 0,027 aA |
| | 900 | 0,489 \pm 0,017 aA | 0,406 \pm 0,007 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,447 \pm 0,016 aA | 0,453 \pm 0,040 aA |
| | 900 | 0,488 \pm 0,026 aA | 0,442 \pm 0,015 aA |
| | | $Y_{(II)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,322 \pm 0,018 aA | 0,273 \pm 0,037 aA |
| ZnO | 450 | 0,316 \pm 0,018 aA | 0,241 \pm 0,025 aA |
| | 900 | 0,374 \pm 0,006 aA | 0,234 \pm 0,023 aB |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,325 \pm 0,025 aA | 0,319 \pm 0,045 aA |
| | 900 | 0,356 \pm 0,026 aA | 0,263 \pm 0,012 aA |
| | | $Y_{(NPO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,487 \pm 0,014 aA | 0,549 \pm 0,046 aA |
| ZnO | 450 | 0,500 \pm 0,019 aA | 0,565 \pm 0,034 aA |
| | 900 | 0,453 \pm 0,010 aB | 0,590 \pm 0,014 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,503 \pm 0,023 aA | 0,491 \pm 0,053 aA |
| | 900 | 0,438 \pm 0,025 aA | 0,544 \pm 0,005 aA |
| | | $Y_{(NO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,191 \pm 0,005 aA | 0,178 \pm 0,019 aA |
| ZnO | 450 | 0,184 \pm 0,006 aA | 0,194 \pm 0,014 aA |
| | 900 | 0,173 \pm 0,009 aA | 0,176 \pm 0,013 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,171 \pm 0,004 aA | 0,191 \pm 0,016 aA |
| | 900 | 0,206 \pm 0,004 aA | 0,193 \pm 0,013 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | | 0,845 \pm 0,005 aA | 0,871 \pm 0,028 aA |
| ZnO | 450 | 0,860 \pm 0,007 aA | 0,865 \pm 0,020 aA |
| | 900 | 0,835 \pm 0,013 aA | 0,886 \pm 0,008 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,860 \pm 0,009 aA | 0,833 \pm 0,036 aA |
| | 900 | 0,806 \pm 0,016 aA | 0,858 \pm 0,012 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | | 0,580 \pm 0,043 aA | 0,567 \pm 0,069 aA |
| ZnO | 450 | 0,608 \pm 0,052 aA | 0,441 \pm 0,030 aA |
| | 900 | 0,629 \pm 0,044 aA | 0,458 \pm 0,065 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,595 \pm 0,034 aA | 0,558 \pm 0,046 aA |
| | 900 | 0,577 \pm 0,013 aA | 0,460 \pm 0,053 aA |

Similarmente, entre datas de avaliação, não se evidenciaram diferenças significativas na maioria dos parâmetros, nomeadamente, F_v/F_m , $Y_{(NO)}$, q_N e q_L . Considerando os parâmetros $Y_{(II)}$ e $Y_{(NPQ)}$ (**Tabela 3.8**) entre datas de avaliação, ocorreu um decréscimo e um aumento significativo, respetivamente, na amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹.

Na casta Moscatel (**Tabela 3.9**), na primeira data de avaliação, verificou-se a ausência de diferenças significativas em todos os parâmetros. Realçando-se algumas variações na segunda data de avaliação nos parâmetros $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$ e q_L . Estas variações, apesar de não serem significativas comparativamente ao controlo, revelaram um valor superior e inferior (respetivamente) nos seguintes parâmetros: no caso do $Y_{(II)}$ e no q_L no ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹ e ZnO - 900 g.ha⁻¹; e no caso do $Y_{(NPQ)}$ o ZnO - 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹.

Entre datas (**Tabela 3.9**), ocorreram diferenças significativas apenas nos parâmetros $Y_{(II)}$ e $Y_{(NPQ)}$, observando-se respetivamente um decréscimo significativo e um aumento significativo no tratamento ZnO - 900 g.ha⁻¹.

Tabela 3.9 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPO)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n=4-6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 1 agosto | 13 setembro |
|--------------------------------|-----|-----------------------|-----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,804 \pm 0,007 aA | 0,795 \pm 0,004 aA |
| ZnO | 450 | 0,815 \pm 0,002 aA | 0,788 \pm 0,004 aA |
| | 900 | 0,803 \pm 0,005 aA | 0,799 \pm 0,010 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,807 \pm 0,006 aA | 0,784 \pm 0,005 aA |
| | 900 | 0,803 \pm 0,004 aA | 0,784 \pm 0,011 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,467 \pm 0,014 abA | 0,450 \pm 0,027 aA |
| ZnO | 450 | 0,449 \pm 0,006 bA | 0,417 \pm 0,009 aA |
| | 900 | 0,477 \pm 0,012 abA | 0,443 \pm 0,022 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,494 \pm 0,013 abA | 0,465 \pm 0,011 aA |
| | 900 | 0,499 \pm 0,011 aA | 0,419 \pm 0,006 aA |
| | | $Y_{(II)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,276 \pm 0,016 aA | 0,277 \pm 0,006 abA |
| ZnO | 450 | 0,312 \pm 0,016 aA | 0,274 \pm 0,022 abA |
| | 900 | 0,343 \pm 0,007 aA | 0,243 \pm 0,025 bB |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,336 \pm 0,009 aA | 0,348 \pm 0,023 aA |
| | 900 | 0,325 \pm 0,020 aA | 0,271 \pm 0,028 abA |
| | | $Y_{(NPO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,522 \pm 0,015 aA | 0,515 \pm 0,013 abA |
| ZnO | 450 | 0,493 \pm 0,013 aA | 0,522 \pm 0,015 abA |
| | 900 | 0,465 \pm 0,006 aB | 0,548 \pm 0,023 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,468 \pm 0,006 aA | 0,447 \pm 0,027 bA |
| | 900 | 0,463 \pm 0,019 aA | 0,509 \pm 0,010 abA |
| | | $Y_{(NO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,203 \pm 0,010 aA | 0,208 \pm 0,013 aA |
| ZnO | 450 | 0,194 \pm 0,003 aA | 0,203 \pm 0,010 aA |
| | 900 | 0,192 \pm 0,001 aA | 0,210 \pm 0,009 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,196 \pm 0,004 aA | 0,205 \pm 0,008 aA |
| | 900 | 0,213 \pm 0,005 aA | 0,220 \pm 0,009 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | | 0,837 \pm 0,013 aA | 0,836 \pm 0,019 aA |
| ZnO | 450 | 0,845 \pm 0,003 aA | 0,852 \pm 0,006 aA |
| | 900 | 0,827 \pm 0,004 aA | 0,846 \pm 0,015 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,818 \pm 0,005 aA | 0,811 \pm 0,015 aA |
| | 900 | 0,802 \pm 0,010 aA | 0,839 \pm 0,006 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | | 0,437 \pm 0,035 aA | 0,481 \pm 0,063 abA |
| ZnO | 450 | 0,562 \pm 0,040 aA | 0,532 \pm 0,051 abA |
| | 900 | 0,575 \pm 0,027 aA | 0,406 \pm 0,052 bA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,519 \pm 0,027 aA | 0,615 \pm 0,050 aA |
| | 900 | 0,487 \pm 0,033 aA | 0,520 \pm 0,044 abA |

A casta Fernão Pires (**Tabela 3.10**), na primeira data de avaliação não revelou diferenças significativa entre as amostras nos diferentes parâmetros determinados. Já na segunda data de avaliação (**Tabela 3.10**), o parâmetro $Y_{(II)}$ apresentou variações entre amostras, sendo que comparativamente ao controlo não foram significativas, mas são de realçar as amostras com $ZnSO_4$ e o ZnO , ambos na concentração de $450 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ com um valor superior e inferior respetivamente.

Entre datas (**Tabela 3.10**), F_v/F_m , $Y_{(NO)}$, q_N e q_L não apresentaram diferenças significativas. No entanto, é de realçar que no parâmetro F_v'/F_m' o controlo foi o único a revelar um decréscimo significativo, mantendo-se as restantes amostras sem impactos relevantes. O parâmetro $Y_{(II)}$ (**Tabela 3.10**), manteve-se sem uma diminuição significativa apenas nas amostras com $ZnSO_4$. Por outro lado, o parâmetro $Y_{(NPQ)}$ (**Tabela 3.10**) aumentou significativamente no tratamento controlo e $ZnO - 450 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ e manteve-se similar nas restantes amostras.

Tabela 3.10 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 3ª pulverização foliar com ZnO, ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 27 julho | 13 setembro |
|--------------------------------|-----|----------------------|-----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,789 \pm 0,009 aA | 0,791 \pm 0,007 aA |
| ZnO | 450 | 0,792 \pm 0,009 aA | 0,761 \pm 0,006 aA |
| | 900 | 0,792 \pm 0,006 aA | 0,774 \pm 0,007 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,796 \pm 0,008 aA | 0,778 \pm 0,015 aA |
| | 900 | 0,770 \pm 0,016 aA | 0,786 \pm 0,005 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,506 \pm 0,026 aA | 0,397 \pm 0,016 aB |
| ZnO | 450 | 0,526 \pm 0,014 aA | 0,414 \pm 0,042 aA |
| | 900 | 0,537 \pm 0,031 aA | 0,463 \pm 0,040 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,518 \pm 0,025 aA | 0,451 \pm 0,028 aA |
| | 900 | 0,481 \pm 0,006 aA | 0,439 \pm 0,035 aA |
| | | $Y_{(II)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,379 \pm 0,033 aA | 0,251 \pm 0,022 abB |
| ZnO | 450 | 0,376 \pm 0,019 aA | 0,214 \pm 0,039 bB |
| | 900 | 0,383 \pm 0,026 aA | 0,287 \pm 0,018 abB |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,382 \pm 0,037 aA | 0,345 \pm 0,031 aA |
| | 900 | 0,358 \pm 0,011 aA | 0,247 \pm 0,028 abA |
| | | $Y_{(NPQ)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,402 \pm 0,035 aB | 0,549 \pm 0,028 aA |
| ZnO | 450 | 0,377 \pm 0,024 aB | 0,553 \pm 0,052 aA |
| | 900 | 0,372 \pm 0,036 aA | 0,491 \pm 0,036 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,380 \pm 0,044 aA | 0,432 \pm 0,025 aA |
| | 900 | 0,441 \pm 0,014 aA | 0,520 \pm 0,047 aA |
| | | $Y_{(NO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,219 \pm 0,005 aA | 0,200 \pm 0,007 aA |
| ZnO | 450 | 0,246 \pm 0,008 aA | 0,233 \pm 0,020 aA |
| | 900 | 0,246 \pm 0,016 aA | 0,223 \pm 0,020 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,238 \pm 0,010 aA | 0,223 \pm 0,022 aA |
| | 900 | 0,201 \pm 0,010 aA | 0,233 \pm 0,019 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | | 0,767 \pm 0,025 aA | 0,864 \pm 0,013 aA |
| ZnO | 450 | 0,736 \pm 0,021 aA | 0,826 \pm 0,044 aA |
| | 900 | 0,724 \pm 0,043 aA | 0,807 \pm 0,036 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,742 \pm 0,035 aA | 0,800 \pm 0,026 aA |
| | 900 | 0,805 \pm 0,012 aA | 0,820 \pm 0,037 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | | 0,592 \pm 0,035 aA | 0,509 \pm 0,044 aA |
| ZnO | 450 | 0,546 \pm 0,032 aA | 0,390 \pm 0,065 aA |
| | 900 | 0,547 \pm 0,078 aA | 0,470 \pm 0,035 aA |
| ZnSO ₄ | 450 | 0,572 \pm 0,038 aA | 0,649 \pm 0,073 aA |
| | 900 | 0,604 \pm 0,031 aA | 0,414 \pm 0,015 aA |

3.1.4 Quantificação e Localização Tecidual de Elementos Minerais nas Folhas e Frutos

Efetuiu-se a monitorização de elementos minerais nas folhas e frutos (com destaque para o Zn e equacionando as relações sinérgicas e antagónicas com outros elementos nutricionais), para caracterizar a mobilização de nutrientes para as uvas que, a par da fotoassimilação, também se verifica a partir das folhas. As análises foram realizadas durante o período entre julho e outubro (correspondente aos meses do ciclo produtivo e terminando no mês da colheita).

3.1.4.1 Folhas

Nas folhas da casta Syrah (**Tabela 3.11**) efetuou-se uma recolha inicial a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), tendo-se verificado relativamente ao controlo, um incremento significativo nos teores de Zn em todas as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn (destacando-se as amostras com concentrações mais elevadas de ZnSO₄ que levaram a uma maior acumulação).

Tabela 3.11 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), em 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - f indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P | Mg |
|--------------------------------|-----|---------------------|----------------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | | |
| Controlo | 0 | 30,92±1,37f | 144,09±10,77a | 3,80±0,05d | 2,52±0,02a | 0,61±0,01d | 0,29±0,01c | 0,11±0,01ab |
| ZnO | 150 | 120,88±0,81d | 143,43±11,42a | 5,23±0,03b | 2,40±0,06ab | 0,74±0,02ab | 0,37±0,01a | 0,18±0,02a |
| | 450 | 91,60±1,79e | 148,74±17,03a | 6,22±0,09a | 1,85±0,03d | 0,73±0,00abc | 0,35±0,00ab | 0,17±0,02a |
| | 900 | 260,91±4,37c | 83,46±9,34b | 4,83±0,01c | 1,95±0,04cd | 0,63±0,02d | 0,31±0,00bc | 0,08±0,01b |
| ZnSO ₄ | 150 | 129,52±3,41d | 118,35±8,03ab | 5,19±0,10b | 2,00±0,04cd | 0,66±0,02cd | 0,35±0,02ab | 0,18±0,02a |
| | 450 | 281,64±4,31b | 138,43±15,09ab | 5,46±0,07b | 2,16±0,06bc | 0,70±0,02bc | 0,31±0,02bc | 0,18±0,02a |
| | 900 | 671,26±1,98a | 159,83±5,23a | 4,58±0,02c | 2,37±0,10ab | 0,80±0,01a | 0,35±0,01ab | 0,15±0,02ab |

Os níveis de Fe (**Tabela 3.11**), relativamente ao controlo, não variaram significativamente após a 2ª pulverização com o ZnSO₄ e ZnO (exceto na amostra com o ZnO - 900 g.ha⁻¹ que apresentou um teor significativamente inferior). Os teores de Ca (**Tabela 3.11**) exibiram valores mínimos no controlo e significativamente superiores nas restantes folhas sujeitas aos fertilizantes de Zn. Por contraste, o K (**Tabela 3.11**) apresentou teores máximos no controlo, sendo significativamente superior comparando com as restantes amostras (exceto na amostra com ZnO - 150 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹). No caso do S (**Tabela 3.11**), as folhas que acumularam um teor significativamente superior corresponderam às amostras pulverizadas com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ (embora apenas as amostras com ZnO - 900 g.ha⁻¹ e o ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹ não tenham sido significativamente superiores ao controlo). Considerando o P

(Tabela 3.11), todas as amostras com os fertilizantes de Zn mostraram teores mais elevados que o controle, ainda que nalguns casos de forma não significativa (amostras com o ZnO - 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹). Os teores de Mg (Tabela 3.11) não apresentaram variações relevantes entre as amostras.

Ao longo do ciclo produtivo, efetuou-se uma segunda recolha de folhas da casta Syrah (Tabela 3.12), a 27 de julho (após a 3^a pulverização foliar), tendo-se verificado relativamente ao controle, teores crescentes (no caso do fertilizante ZnO) e significativamente superiores de Zn após a pulverização com ZnO e ZnSO₄ (exceto com a amostra com o ZnO - 150 g.ha⁻¹).

Tabela 3.12 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), em 27 de julho (após a 3^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|---------------|-------------|-------------|------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 27,96±3,24e | 158,51±31,56a | 3,79±0,28ab | 2,36±0,16a | 0,78±0,05c | 0,26±0,03abc |
| ZnO | 150 | 83,87±13,03de | 83,53±18,94a | 3,93±0,44ab | 1,57±0,16b | 0,58±0,04c | 0,21±0,02bc |
| | 450 | 173,73±4,33cd | 114,61±7,55a | 5,16±0,26a | 1,76±0,08ab | 1,41±0,06a | 0,28±0,02ab |
| | 900 | 478,99±36,38b | n.d | 3,56±0,45ab | 2,27±0,05ab | 1,13±0,09b | 0,33±0,02a |
| ZnSO ₄ | 150 | 621,56±20,28a | 169,91±24,72a | 2,82±0,21b | 2,12±0,11ab | 0,65±0,03c | 0,23±0,02bc |
| | 450 | 229,98±9,51c | 120,51±18,76a | 2,96±0,36b | 1,70±0,06ab | 0,56±0,02c | 0,19±0,01c |
| | 900 | 541,23±55,17ab | 107,31±8,30a | 3,72±0,25ab | 1,96±0,31ab | 0,75±0,03c | 0,25±0,02abc |

*n.d. não detetável

Os níveis de Ca e K (Tabela 3.12), relativamente ao controle, não apresentaram variações significativas (embora no Ca com o fertilizante ZnSO₄ e com o aumento da concentração se tenha verificado uma tendência de aumento; e, exceto o fertilizante ZnO - 150 g.ha⁻¹, no caso do K). O teor de S (Tabela 3.12), relativamente ao controle, destacou-se significativamente, com valores superiores nas folhas com ZnO - 450 g.ha⁻¹ e ZnO - 900 g.ha⁻¹. Tal como verificado para outros elementos, o P relativamente ao controle, não revelou variações significativas entre as amostras analisadas (Tabela 3.12).

Nas folhas da casta Castelão (Tabela 3.13) também se efetuou uma recolha inicial a 12 de julho, tendo-se verificado, relativamente ao controle, um incremento significativo nos teores de Zn nas amostras pulverizadas com o ZnO e ZnSO₄.

Tabela 3.13 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), em 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | % | | |
| Controlo | 0 | 33,87 \pm 1,35e | 110,47 \pm 9,38a | 2,78 \pm 0,07d | 2,60 \pm 0,05cd | 0,65 \pm 0,02a | 0,25 \pm 0,01b |
| ZnO | 150 | 98,89 \pm 2,02d | 74,97 \pm 0,90a | 3,69 \pm 0,09a | 2,95 \pm 0,07b | 0,61 \pm 0,01ab | 0,32 \pm 0,00a |
| | 450 | 309,44 \pm 1,50b | 111,62 \pm 5,94a | 3,21 \pm 0,10bc | 3,68 \pm 0,06a | 0,65 \pm 0,02a | 0,31 \pm 0,01a |
| | 900 | 490,55 \pm 12,32a | 100,54 \pm 12,19a | 3,71 \pm 0,06a | 2,39 \pm 0,07d | 0,54 \pm 0,03bc | 0,31 \pm 0,02a |
| ZnSO ₄ | 150 | 284,22 \pm 8,59b | 103,69 \pm 12,73a | 3,12 \pm 0,03c | 3,01 \pm 0,04b | 0,52 \pm 0,01c | 0,24 \pm 0,01b |
| | 450 | 113,26 \pm 1,50d | 115,80 \pm 6,36a | 3,51 \pm 0,03ab | 2,47 \pm 0,01cd | 0,58 \pm 0,01abc | 0,29 \pm 0,01ab |
| | 900 | 196,35 \pm 3,40c | 96,85 \pm 5,70a | 3,09 \pm 0,02c | 2,68 \pm 0,05c | 0,55 \pm 0,01bc | 0,26 \pm 0,00b |

Os níveis de Fe (**Tabela 3.13**) não variaram de forma significativa entre amostras. Os teores de Ca (**Tabela 3.13**) foram mínimos no controlo e significativamente superiores nas folhas pulverizadas com ambos os fertilizantes de Zn. Considerando o K (**Tabela 3.13**), relativamente ao controlo, evidenciaram-se valores significativamente superiores nas amostras com o ZnO - 150 e 450 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹. Os teores de S (**Tabela 3.13**), relativamente ao controlo, não variaram de forma significativa nas amostras com concentrações mais baixas de ZnO e também com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹, mas apresentaram valores inferiores com o ZnSO₄ - 150 e 900 g.ha⁻¹. Os níveis de P (**Tabela 3.13**), relativamente ao controlo, foram significativamente mais elevados em todas as amostras pulverizadas com o ZnO, não se verificando variações significativas com o ZnSO₄.

Tal como na casta Syrah (**Tabela 3.14**), efetuou-se uma segunda recolha de folhas da casta Castelão a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), tendo-se verificado relativamente ao controlo, teores crescentes de Zn nas restantes amostras (sendo significativos nas amostras com o ZnO - 450 e 900 g.ha⁻¹ e o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹).

O Fe (**Tabela 3.14**) destacou-se com um valor significativamente superior nas amostras com o ZnO - 900 g.ha⁻¹, comparativamente ao controlo, no entanto não apresentou variações relevantes nas restantes amostras. Os teores de Ca, K, S e P (**Tabela 3.14**), relativamente ao controlo, não variaram nas amostras pulverizadas com os fertilizantes em Zn (no entanto observou-se uma tendência decrescente dos teores para o Ca com o ZnSO₄ e no caso do P com ambos os fertilizantes).

Tabela 3.14 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|----------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 35,35 \pm 1,21d | 144,32 \pm 25,45bc | 3,54 \pm 0,23a | 3,02 \pm 0,16ab | 0,62 \pm 0,06a | 0,32 \pm 0,06a |
| ZnO | 150 | 72,57 \pm 5,90d | 135,79 \pm 14,50c | 3,56 \pm 0,20a | 2,45 \pm 0,15b | 0,48 \pm 0,06a | 0,19 \pm 0,02a |
| | 450 | 429,23 \pm 32,54b | 173,49 \pm 3,54abc | 2,45 \pm 0,08a | 3,14 \pm 0,11ab | 0,57 \pm 0,04a | 0,22 \pm 0,01a |
| | 900 | 572,45 \pm 35,03a | 235,60 \pm 20,17a | 2,80 \pm 0,34a | 3,09 \pm 0,06ab | 0,56 \pm 0,04a | 0,26 \pm 0,01a |
| ZnSO ₄ | 150 | 82,88 \pm 4,39d | 115,01 \pm 18,94c | 3,20 \pm 0,19a | 3,81 \pm 0,10a | 0,60 \pm 0,08a | 0,22 \pm 0,02 |
| | 450 | 113,00 \pm 12,94d | 129,52 \pm 17,25c | 3,10 \pm 0,47a | 2,98 \pm 0,44ab | 0,38 \pm 0,08a | 0,19 \pm 0,05a |
| | 900 | 187,96 \pm 14,86c | 228,16 \pm 16,68ab | 2,75 \pm 0,04a | 3,00 \pm 0,13ab | 0,52 \pm 0,00a | 0,22 \pm 0,01a |

Nas folhas da casta Moscatel (**Tabela 3.15**), na recolha inicial a 12 de julho (após a 2ª pulverização), verificou-se relativamente ao controlo, um incremento significativo e crescente nos níveis de Zn em todas as amostras pulverizadas com o ZnO e ZnSO₄.

Tabela 3.15 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 17,47 \pm 3,09e | 60,29 \pm 4,47b | 3,22 \pm 0,06e | 2,35 \pm 0,05ab | 0,42 \pm 0,01c | 0,20 \pm 0,00d |
| ZnO | 150 | 135,64 \pm 3,72c | 74,42 \pm 4,77b | 4,19 \pm 0,11bc | 2,48 \pm 0,04ab | 0,50 \pm 0,02b | 0,31 \pm 0,01bc |
| | 450 | 289,95 \pm 11,99b | 67,58 \pm 9,79b | 4,53 \pm 0,07ab | 2,65 \pm 0,06a | 0,58 \pm 0,01a | 0,37 \pm 0,01a |
| | 900 | 584,25 \pm 6,39a | 93,73 \pm 10,83b | 3,64 \pm 0,03de | 2,30 \pm 0,06b | 0,43 \pm 0,00bc | 0,37 \pm 0,01ab |
| ZnSO ₄ | 150 | 73,22 \pm 3,83d | 168,73 \pm 2,91a | 3,89 \pm 0,05cd | 2,27 \pm 0,01b | 0,46 \pm 0,03bc | 0,26 \pm 0,02c |
| | 450 | 183,94 \pm 5,87c | 96,46 \pm 3,36b | 3,98 \pm 0,10cd | 2,41 \pm 0,09ab | 0,49 \pm 0,01bc | 0,31 \pm 0,02c |
| | 900 | 323,64 \pm 22,52b | 98,19 \pm 15,91b | 4,70 \pm 0,15a | 2,30 \pm 0,11b | 0,48 \pm 0,02bc | 0,29 \pm 0,01c |

Os níveis de Ca (**Tabela 3.15**) foram significativamente mais baixos no controlo, face às restantes amostras (exceto nas amostras com o ZnO - 900 g.ha⁻¹), observando-se uma tendência de valores crescentes com o aumento da concentração do ZnSO₄. O teor em K e S (**Tabela 3.15**), em todas as amostras, não revelou valores significativamente diferentes relativamente ao controlo (exceto nas amostras com o ZnO - 150 e 450 g.ha⁻¹). Os níveis de P (**Tabela 3.15**), foram significativamente inferiores no controlo, face às restantes amostras. Os níveis de Fe não apresentaram diferenças significativas face ao controlo (exceto nas amostras com ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹).

Relativamente à segunda recolha de folhas da casta Moscatel (**Tabela 3.16**), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), verificou-se relativamente ao controlo, teores progressivamente mais elevados de Zn com as pulverizações em concentrações crescentes de ZnO e ZnSO₄.

Tabela 3.16 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|---------------|------------|-------------|-------------|------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 43,83±5,27c | 128,66±5,97a | 3,85±0,36a | 3,30±0,21a | 0,97±0,03bc | 0,31±0,02a |
| | 150 | 118,16±10,97c | 55,25±3,69b | 3,64±0,13a | 2,07±0,22b | 1,05±0,10ab | 0,23±0,05a |
| ZnO | 450 | 339,54±32,26b | 112,95±12,04a | 3,88±0,55a | 2,31±0,26b | 1,40±0,08a | 0,32±0,03a |
| | 900 | 595,03±62,19a | 112,88±19,64a | 4,46±0,62a | 2,62±0,05ab | 1,07±0,12ab | 0,28±0,05a |
| | 150 | 81,10±1,76c | 103,60±1,48a | 4,08±0,43a | 2,52±0,26ab | 0,61±0,04c | 0,21±0,02a |
| ZnSO ₄ | 450 | 134,51±4,56c | 98,69±7,16ab | 2,98±0,32a | 2,35±0,15ab | 0,97±0,08bc | 0,27±0,01a |
| | 900 | 385,13±25,40b | 118,34±7,87a | 3,03±0,10a | 2,26±0,12b | 1,24±0,05ab | 0,25±0,02a |

Os níveis Fe (**Tabela 3.16**) não foram significativamente diferentes do controlo (exceto nas amostras com o ZnO - 150 g.ha⁻¹). Os teores de Ca e de P (**Tabela 3.16**) não variaram de forma significativa nas amostras analisadas (sendo de destacar um aumento progressivo de Ca com o aumento da concentração do ZnO, por oposição ao observado na recolha inicial). Os níveis de K (**Tabela 3.16**), relativamente ao controlo, foram significativamente mais baixos nas amostras com ZnO - 150 e 450 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹. Os teores de S (**Tabela 3.16**), relativamente ao controlo, apenas foram significativamente mais elevados nas amostras com ZnO - 450 g.ha⁻¹.

Na casta Fernão Pires, à semelhança das anteriores (**Tabela 3.17**), efetuou-se uma recolha inicial de folhas, a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), tendo-se verificado, relativamente ao controlo, apenas um incremento significativo dos teores de Zn com a pulverização com o ZnO - 900 g.ha⁻¹.

O teor em Fe (**Tabela 3.17**), relativamente ao controlo, não variou de forma significativa entre as amostras, ainda que se tenham verificado oscilações entre as diferentes amostras. Os níveis de Ca e P (**Tabela 3.17**), não apresentaram uma tendência clara face ao incremento nos teores das amostras com ZnO e ZnSO₄. Embora, relativamente ao Ca se observem diferenças significativas nas amostras com ZnO - 450 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 150 e 900 g.ha⁻¹, e no P nas amostras com ZnO - 150 e 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹. Os teores de K (**Tabela 3.17**), relativamente ao controlo, foram mais elevados em todas as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn, ainda que não tenham variado de forma significativa (exceto nas amostras com o ZnO - 900 g.ha⁻¹). Ao nível do S (**Tabela 3.17**), a amostra com ZnO - 150

g.ha⁻¹ destacou-se com um valor significativamente superior, no entanto observa-se uma tendência decrescente com o ZnO e o aumento da concentração.

Tabela 3.17 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, P \leq 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 27,05 \pm 1,09b | 62,78 \pm 2,82abc | 3,37 \pm 0,06ab | 2,07 \pm 0,06b | 0,48 \pm 0,01bc | 0,23 \pm 0,01b |
| | 150 | 22,39 \pm 1,45bcd | 85,51 \pm 11,71a | 3,82 \pm 0,02a | 2,53 \pm 0,17ab | 0,63 \pm 0,05a | 0,56 \pm 0,02a |
| | ZnO | 450 | 23,00 \pm 0,82bc | 40,76 \pm 2,29bc | 2,35 \pm 0,02d | 2,50 \pm 0,07ab | 0,54 \pm 0,01ab |
| | 900 | 37,44 \pm 2,14a | 73,96 \pm 5,55ab | 3,00 \pm 0,05bc | 2,60 \pm 0,13a | 0,52 \pm 0,00abc | 0,54 \pm 0,04a |
| ZnSO ₄ | 150 | 22,02 \pm 1,32bcd | 33,67 \pm 2,62 | 2,49 \pm 0,07cd | 2,53 \pm 0,07ab | 0,48 \pm 0,00bc | 0,24 \pm 0,01b |
| | 450 | 16,91 \pm 1,55cd | 73,62 \pm 9,92ab | 3,25 \pm 0,12b | 2,27 \pm 0,10ab | 0,52 \pm 0,03abc | 0,80 \pm 0,01a |
| | 900 | 14,61 \pm 3,51d | 55,26 \pm 11,52abc | 2,02 \pm 0,03d | 2,40 \pm 0,02ab | 0,41 \pm 0,01c | 0,19 \pm 0,01b |

A segunda recolha de folhas da casta Fernão Pires (**Tabela 3.18**), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), relativamente ao controlo, demonstrou teores progressivamente mais elevados de Zn com a pulverização de níveis crescentes de ambos os fertilizantes.

Tabela 3.18 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a – e, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P \leq 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 32,76 \pm 4,36e | 169,58 \pm 23,37bc | 3,86 \pm 0,16abc | 2,17 \pm 0,05ab | 0,87 \pm 0,03ab | 0,26 \pm 0,01bcd |
| | 150 | 110,30 \pm 1,39cd | 195,65 \pm 10,79b | 4,40 \pm 0,02a | 2,30 \pm 0,20ab | 0,94 \pm 0,11ab | 0,32 \pm 0,01bc |
| | ZnO | 450 | 176,98 \pm 32,37c | 165,93 \pm 22,43bc | 4,17 \pm 0,15ab | 2,60 \pm 0,23ab | 1,06 \pm 0,05a |
| 900 | | 337,72 \pm 0,00b | 148,37 \pm 6,36bc | 4,41 \pm 0,30a | 2,61 \pm 0,54a | 0,89 \pm 0,08ab | 0,45 \pm 0,05a |
| ZnSO ₄ | 150 | 91,75 \pm 13,45de | 299,98 \pm 6,10a | 2,94 \pm 0,27c | 2,12 \pm 0,17ab | 0,93 \pm 0,15ab | 0,27 \pm 0,03bcd |
| | 450 | 297,47 \pm 20,03b | 90,41 \pm 20,73cd | 3,26 \pm 0,25bc | 1,37 \pm 0,12b | 0,58 \pm 0,03b | 0,19 \pm 0,02d |
| | 900 | 496,22 \pm 4,57a | 77,62 \pm 12,95c | 4,04 \pm 0,20ab | 1,93 \pm 0,18ab | 0,75 \pm 0,02ab | 0,22 \pm 0,02cd |

Os teores de Fe (**Tabela 3.18**) não revelaram uma tendência clara face às concentrações crescentes de ZnO e ZnSO₄, embora se tenha verificado que, após a biofortificação, o valor de Fe tenha sido superior ao controlo, mas com o aumento das concentrações uma redução do valor foi observada. O nível de Ca no controlo (**Tabela 3.18**), não apresentou diferenças significativas face às amostras com os fertilizantes de Zn, no entanto, tal como já observado na casta Syrah e Moscatel, observou-se com o

ZnSO₄, uma tendência crescente do valor com o aumento da concentração. O teor em K (**Tabela 3.18**) não revelou, face ao controlo, teores significativamente relevantes. Os teores de S e P (**Tabela 3.18**) face ao controlo, não variaram de forma significativa em todas as amostras pulverizadas com o ZnO e ZnSO₄, sendo de realçar apenas a amostra com o ZnO - 900 g.ha⁻¹, no caso do P, que levou a um valor significativamente mais elevado.

3.1.4.2 Frutos

Ao nível dos frutos realizaram-se diferentes técnicas ao longo do ciclo produtivo nomeadamente: Espectrofluorimetria acoplada com raios-X, espectrofotometria de absorção atômica e localização tecidual, utilizando a microscopia eletrónica de varrimento, com espectroscopia dispersiva de energias de raios X (*SEM-EDS*) e com sistema de fluorescência de dispersão de raios-X de micro-energia (*μ-EDXRF*).

3.1.4.2.1 Espectrofluorimetria Acoplada com Raios-X

Na casta Syrah (**Tabela 3.19**) efetuou-se uma recolha inicial de frutos, a 12 de julho (após a 2^a pulverização foliar), tendo-se verificado, que nos teores de Zn, relativamente ao controlo, não subsistiram variações significativas (exceto na amostra com ZnO - 150 g.ha⁻¹ que foi inferior). Embora, o Zn tenha prevalecido com uma concentração mais elevada nas amostras com o ZnSO₄ (450 e 900 g.ha⁻¹).

Os teores de Ca e K (**Tabela 3.19**) não apresentaram variações significativas entre amostras (embora o Ca tenha apresentado uma tendência decrescente com o aumento da concentração de ZnSO₄). O nível de P (**Tabela 3.19**), embora não apresente diferenças significativas relativamente ao controlo, evidenciam-se teores superiores nos frutos das restantes amostras (com uma tendência crescente com o aumento da concentração de ZnO). Os teores de S (**Tabela 3.19**), face ao controlo, foram significativamente diferentes nas amostras com o ZnO - 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹ (embora não sendo significativo, os teores mais elevados são observados com ambos os fertilizantes nas duas concentrações mais elevadas, *i.e.*, 450 e 900 g.ha⁻¹).

Tabela 3.19 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | | |
| Controlo | 0 | 30,24 \pm 0,94abc | 2,44 \pm 0,01a | 0,872 \pm 0,100a | 0,350 \pm 0,037a | 0,312 \pm 0,017c |
| ZnO | 150 | 21,04 \pm 2,85d | 2,23 \pm 0,19a | 0,963 \pm 0,049a | 0,398 \pm 0,036a | 0,306 \pm 0,024c |
| | 450 | 22,58 \pm 0,50cd | 2,58 \pm 0,43a | 0,950 \pm 0,035a | 0,431 \pm 0,033a | 0,348 \pm 0,014abc |
| | 900 | 30,91 \pm 0,72ab | 2,56 \pm 0,58a | 1,059 \pm 0,051a | 0,476 \pm 0,013a | 0,386 \pm 0,004ab |
| ZnSO ₄ | 150 | 23,91 \pm 2,48bcd | 2,19 \pm 0,11a | 1,051 \pm 0,021a | 0,432 \pm 0,024a | 0,329 \pm 0,015bc |
| | 450 | 31,85 \pm 1,18a | 3,50 \pm 0,26a | 1,036 \pm 0,028a | 0,449 \pm 0,015a | 0,402 \pm 0,007a |
| | 900 | 31,22 \pm 0,86ab | 2,52 \pm 0,16a | 1,003 \pm 0,031a | 0,412 \pm 0,012a | 0,353 \pm 0,006abc |

Realizou-se para a mesma casta uma segunda recolha de frutos (**Tabela 3.20**), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), tendo-se verificado que os teores de Zn relativamente ao controlo, tenderam a aumentar com a aplicação de concentrações crescentes de ZnO e ZnSO₄ (ainda que na maioria dos casos de forma não significativa).

Tabela 3.20 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|-------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | | |
| Controlo | 0 | 13,46 \pm 0,88b | 2,19 \pm 0,08ab | 0,529 \pm 0,025bcd | 0,253 \pm 0,001ab | 0,258 \pm 0,010b |
| ZnO | 150 | 19,54 \pm 1,14ab | 2,09 \pm 0,31ab | 0,658 \pm 0,058abc | 0,307 \pm 0,002a | 0,265 \pm 0,013b |
| | 450 | 18,84 \pm 1,80ab | 2,91 \pm 0,14a | 0,523 \pm 0,049a | 0,307 \pm 0,002a | 0,329 \pm 0,004a |
| | 900 | 21,40 \pm 0,89a | 2,43 \pm 0,13ab | 0,661 \pm 0,053ab | 0,300 \pm 0,004a | 0,344 \pm 0,017a |
| ZnSO ₄ | 150 | 13,92 \pm 1,86ab | 1,78 \pm 0,05b | 0,392 \pm 0,011d | 0,186 \pm 0,007b | 0,165 \pm 0,011c |
| | 450 | 17,65 \pm 2,71ab | 2,03 \pm 0,14ab | 0,479 \pm 0,016bcd | 0,268 \pm 0,004a | 0,220 \pm 0,008b |
| | 900 | 19,18 \pm 0,69ab | 2,05 \pm 0,26ab | 0,765 \pm 0,018a | 0,272 \pm 0,011a | 0,241 \pm 0,003b |

Os teores de Ca (**Tabela 3.20**), relativamente ao controlo, foram significativamente mais elevados nas amostras com ZnO - 450 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ (observando-se o inverso da recolha inicial, com uma tendência crescente dos níveis de Ca com o aumento da concentração de ZnSO₄). Os níveis de K e P (**Tabela 3.20**), relativamente ao controlo, não variaram significativamente nas restantes

amostras (no entanto para ambos os elementos observou-se a mesma tendência que no Ca com o tratamento ZnSO₄). Os teores de S (**Tabela 3.20**), relativamente ao controlo, aumentaram progressivamente com o aumento da concentração de ZnO aplicada (sendo este significativo nas duas concentrações mais elevadas), contudo tal não se verifica com as amostras pulverizadas com o ZnSO₄.

Na casta Castelão (**Tabela 3.21**), na recolha inicial de frutos, a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), evidenciou-se relativamente ao controlo, um incremento significativo nos teores de Zn com o ZnO e ZnSO₄ na concentração mais elevada (900 g.ha⁻¹). Embora não sendo significativo, todos os frutos sujeitos aos fertilizantes em Zn nas diferentes concentrações, apresentaram um aumento de Zn face ao controlo.

Tabela 3.21 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|------------|----------------|---------------|----------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | % | |
| Controlo | 0 | 7,18±0,73c | 2,02±0,08a | 0,531±0,006bc | 0,185±0,009d | 0,164±0,004bc |
| ZnO | 150 | 9,29±0,36bc | 2,64±0,13a | 0,811±0,057a | 0,278±0,013a | 0,212±0,010a |
| | 450 | 9,99±1,59bc | 2,36±0,26a | 0,768±0,061ab | 0,214±0,002cd | 0,166±0,014bc |
| | 900 | 16,03±0,34a | 2,18±0,01a | 0,808±0,046a | 0,261±0,008ab | 0,200±0,005ab |
| ZnSO ₄ | 150 | 8,45±0,75bc | 2,21±0,27a | 0,627±0,066abc | 0,232±0,008bc | 0,196±0,008abc |
| | 450 | 7,84±0,41bc | 2,05±0,04a | 0,656±0,052abc | 0,233±0,009bc | 0,188±0,004abc |
| | 900 | 11,44±1,08b | 2,18±0,02a | 0,481±0,035c | 0,196±0,003cd | 0,159±0,005c |

Os níveis de K (**Tabela 3.21**) não foram significativamente diferentes entre as amostras, não obstante, relativamente ao controlo, os valores após a fertilização com ZnO e ZnSO₄ foram superiores. Os teores de Ca (**Tabela 3.21**), relativamente ao controlo, foram significativamente mais elevados em todas as amostras com ZnO (exceto na concentração 450 g.ha⁻¹). Os níveis de P (**Tabela 3.21**), face aos fertilizantes ZnO e ZnSO₄, foram mínimos no controlo, ainda que alguns valores não tenham apresentado diferenças significativas (amostras com ZnO - 450 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹). Relativamente ao S (**Tabela 3.21**), evidenciou-se, comparativamente ao controlo, e restantes amostras, um valor significativamente superior com o ZnO - 150 g.ha⁻¹.

A segunda recolha da casta Castelão (**Tabela 3.22**) a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), revelou concentrações vestigiais de Zn em todas as amostras, exceto com o ZnO - 900 g.ha⁻¹.

Os teores de Ca e S (**Tabela 3.22**) não apresentaram variações significativas, no entanto com o ZnSO₄ os valores de S revelaram um aumento com a concentração. Os níveis de K (**Tabela 3.22**) apresentaram um mínimo com a pulverização com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹, no entanto relativamente ao controlo não ocorreram diferenças significativas entre as amostras. No entanto, verificou-se com o ZnO uma tendência decrescente dos teores de K com a concentração. Similarmente, o P, relativamente ao controlo (**Tabela 3.22**), não revelou diferenças significativas entre as amostras biofortificadas (exceto com o ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹, que representou o valor mínimo).

Tabela 3.22 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | | |
| Controlo | 0 | n.d | 2,09±0,11a | 0,349±0,049a | 0,172±0,013a | 0,153±0,008a |
| | 150 | n.d | 2,20±0,01a | 0,269±0,019a | 0,135±0,006ab | 0,154±0,006a |
| ZnO | 450 | n.d. | 1,93±0,07ab | 0,322±0,040a | 0,130±0,007ab | 0,134±0,005a |
| | 900 | 7,66±0,64 | 1,77±0,03ab | 0,305±0,023a | 0,140±0,010ab | 0,140±0,006a |
| | 150 | n.d | 1,81±0,19ab | 0,433±0,014a | 0,122±0,019b | 0,122±0,013a |
| ZnSO ₄ | 450 | n.d | 1,62±0,05b | 0,319±0,017a | 0,158±0,003ab | 0,138±0,003a |
| | 900 | n.d | 1,87±0,03ab | 0,326±0,008a | 0,145±0,003ab | 0,142±0,006a |

*n.d. não detetável

Na casta Moscatel (**Tabela 3.23**), efetuou-se na mesma data que as restantes castas, uma recolha inicial de frutos, a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), tendo-se verificado, relativamente ao controlo, um incremento significativo nos teores de Zn com o ZnO - 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹. Embora seja de realçar que as amostras com 450 e 900 g.ha⁻¹ de ambos os fertilizantes de Zn (ZnO e ZnSO₄), levaram a um aumento de Zn face ao controlo.

Os níveis de Ca e S (**Tabela 3.23**), relativamente ao controlo, não variaram de forma significativa nas amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn (respetivamente, apresentando um mínimo e um máximo nas amostras: ZnO - 450 e 900 g.ha⁻¹ no caso do Ca; e ZnO - 900 e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹ no caso do S). Os teores de K (**Tabela 3.23**), relativamente ao controlo, foram significativamente inferiores com o ZnSO₄ - 150 e 900 g.ha⁻¹. Os níveis de P (**Tabela 3.23**), face ao controlo, foram significativamente inferiores (exceto com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹).

Tabela 3.23 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 12 de julho (após a 2ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | | |
| Controlo | 0 | 12,58 \pm 0,49c | 2,06 \pm 0,03a | 0,767 \pm 0,046ab | 0,289 \pm 0,002a | 0,159 \pm 0,004ab |
| | 150 | 11,38 \pm 0,56c | 1,83 \pm 0,05ab | 0,730 \pm 0,045ab | 0,235 \pm 0,002bc | 0,162 \pm 0,001ab |
| | ZnO | 450 | 13,42 \pm 0,09bc | 1,88 \pm 0,07ab | 0,643 \pm 0,021b | 0,203 \pm 0,007cd |
| | 900 | 21,16 \pm 1,74a | 1,87 \pm 0,09ab | 0,892 \pm 0,033a | 0,225 \pm 0,013bcd | 0,149 \pm 0,008b |
| ZnSO ₄ | 150 | 11,47 \pm 0,13c | 1,56 \pm 0,10b | 0,810 \pm 0,059ab | 0,188 \pm 0,014d | 0,154 \pm 0,010ab |
| | 450 | 16,73 \pm 0,86b | 1,83 \pm 0,06ab | 0,747 \pm 0,041ab | 0,253 \pm 0,010ab | 0,180 \pm 0,007a |
| | 900 | 14,41 \pm 0,31bc | 1,58 \pm 0,07b | 0,655 \pm 0,035b | 0,228 \pm 0,008bcd | 0,160 \pm 0,005ab |

Na segunda recolha de frutos da casta branca Moscatel (**Tabela 3.24**), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), verificaram-se, relativamente ao controlo, teores progressivamente e significativamente mais elevados de Zn com a aplicação de ZnSO₄ (ainda que de forma significativa apenas com a concentração mais elevada ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹) e também com os níveis crescentes de ZnO (exceto na concentração mais baixa).

Tabela 3.24 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | | |
| Controlo | 0 | 6,69 \pm 0,01c | 1,59 \pm 0,07a | 0,479 \pm 0,064a | 0,155 \pm 0,011a | 0,156 \pm 0,006c |
| | 150 | 8,63 \pm 0,36c | 1,57 \pm 0,03a | 0,373 \pm 0,042ab | 0,187 \pm 0,004a | 0,273 \pm 0,008a |
| | ZnO | 450 | 14,60 \pm 1,77b | 1,62 \pm 0,20a | 0,273 \pm 0,077ab | 0,175 \pm 0,002a |
| 900 | | 28,13 \pm 1,03a | 1,81 \pm 0,13a | 0,383 \pm 0,017ab | 0,162 \pm 0,012a | 0,237 \pm 0,011ab |
| ZnSO ₄ | 150 | n.d | 1,57 \pm 0,04a | 0,258 \pm 0,006b | 0,140 \pm 0,012a | 0,157 \pm 0,007c |
| | 450 | 9,74 \pm 0,77c | 1,66 \pm 0,01a | 0,322 \pm 0,035ab | 0,161 \pm 0,006a | 0,200 \pm 0,004bc |
| | 900 | 15,07 \pm 1,22b | 1,59 \pm 0,06a | 0,413 \pm 0,031ab | 0,167 \pm 0,010a | 0,181 \pm 0,004bc |

*n.d. não detetável

Os níveis de Ca, K e P (**Tabela 3.24**), comparativamente ao controlo, não variaram de forma significativa (exceto com o ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹ para o Ca). Embora, seja de salientar uma tendência para o aumento da concentração de Ca e P com o aumento da concentração de ZnSO₄ (no caso do P com

o ZnO, o oposto aconteceu, decrescendo com a concentração). Os teores de S (**Tabela 3.24**) variaram de forma significativa, sendo mais elevados com o ZnO - 150 e 900 g.ha⁻¹.

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.25**), tal como nas castas anteriores, efetuou-se uma recolha inicial de frutos, em 12 de julho (após a 2^a pulverização), tendo-se verificado que relativamente ao controlo não subsistiram variações significativas nos teores de Zn (embora face ao controlo os teores de Zn tenham aumentado nas restantes amostras).

O Ca (**Tabela 3.25**), à semelhança do Zn, não apresentou variações relevantes entre as diferentes amostras. Os níveis de K, S e P (**Tabela 3.25**) nas amostras controlo foram mínimos, comparativamente às restantes amostras (sendo estes aumentos significativos na maioria dos casos). No caso do K (**Tabela 3.25**), verificou-se que com o ZnSO₄, subsistiu uma tendência decrescente com a concentração (embora não significativa).

Tabela 3.25 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 12 de julho (após a 2^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e, indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|-------------|--------------|---------------|---------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | | |
| Controlo | 0 | 8,29±0,05a | 1,50±0,01c | 0,568±0,018a | 0,158±0,006e | 0,139±0,007c |
| | 150 | 8,82±0,04a | 2,40±0,08a | 0,532±0,019a | 0,290±0,012b | 0,200±0,008a |
| | ZnO | 450 | 9,04±0,60a | 1,87±0,03bc | 0,616±0,007a | 0,208±0,007d |
| | 900 | 10,75±0,16a | 2,03±0,06ab | 0,609±0,032a | 0,257±0,005bc | 0,179±0,004ab |
| ZnSO ₄ | 150 | 8,55±1,13a | 2,26±0,12ab | 0,658±0,067a | 0,222±0,007cd | 0,161±0,006bc |
| | 450 | 9,72±0,73a | 2,21±0,18ab | 0,539±0,012a | 0,340±0,012a | 0,200±0,009a |
| | 900 | 10,95±0,47a | 2,12±0,07ab | 0,662±0,026a | 0,222±0,009cd | 0,176±0,004ab |

A casta Fernão Pires (**Tabela 3.26**) na segunda recolha de frutos, a 27 de julho (após a 3^a pulverização foliar), relativamente ao controlo, revelou teores de Zn com um aumento progressivo e significativo em todas as amostras com ZnO e ZnSO₄ (ainda que em ZnO na concentração mais baixa e os o fertilizante ZnSO₄ de forma não significativa).

Tabela 3.26 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 27 de julho (após a 3ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | P | S |
|--------------------------------|-----|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | | |
| Controlo | 0 | 9,12 \pm 0,20c | 1,82 \pm 0,12ab | 0,377 \pm 0,043a | 0,156 \pm 0,010abc | 0,185 \pm 0,010bc |
| ZnO | 150 | 10,78 \pm 0,13c | 1,93 \pm 0,02ab | 0,203 \pm 0,010b | 0,134 \pm 0,004c | 0,152 \pm 0,004d |
| | 450 | 17,69 \pm 1,17b | 1,93 \pm 0,05ab | 0,343 \pm 0,039a | 0,177 \pm 0,009ab | 0,215 \pm 0,003ab |
| | 900 | 30,15 \pm 0,83a | 2,28 \pm 0,07a | 0,341 \pm 0,008a | 0,188 \pm 0,003a | 0,229 \pm 0,002a |
| ZnSO ₄ | 150 | 10,10 \pm 0,36c | 2,07 \pm 0,09ab | 0,273 \pm 0,022ab | 0,147 \pm 0,006bc | 0,168 \pm 0,007cd |
| | 450 | 12,21 \pm 0,49c | 2,16 \pm 0,21ab | 0,308 \pm 0,020ab | 0,175 \pm 0,003ab | 0,195 \pm 0,008bc |
| | 900 | 13,61 \pm 1,99bc | 1,73 \pm 0,03b | 0,315 \pm 0,020ab | 0,127 \pm 0,008c | 0,144 \pm 0,008d |

Os níveis de S (**Tabela 3.26**) não apresentaram uma tendência clara com o incremento das concentrações de ambos os fertilizantes, apresentando um valor significativamente superior e inferior face ao controlo, com o ZnO - 900 g.ha⁻¹ e com ZnO - 150 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, respetivamente. Os teores de Ca, K e P (**Tabela 3.26**) não variaram de forma significativa face ao controlo (exceto ZnO - 150 g.ha⁻¹ para o Ca).

3.1.4.2.2 Espectrofotometria de Absorção Atómica

A par da determinação dos elementos minerais nos frutos, foi também realizada a análise de espectrofotometria de absorção atómica nos frutos à colheita das quatro castas em estudo (entre setembro e outubro).

Na casta Syrah (**Tabela 3.27**) efetuou-se uma recolha de frutos à colheita, a 6 de outubro, tendo-se verificado relativamente ao controlo, um incremento nos teores de Zn em todas as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn, embora não sendo significativo (apresentando um aumento entre 1,2 a 1,6 vezes relativamente ao controlo).

Relativamente ao controlo (**Tabela 3.27**), os níveis de Ca, Fe e Na não variaram significativamente, sendo de realçar apenas no caso do Fe a existência de um mínimo e um máximo com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ e ZnO - 450 g.ha⁻¹, respetivamente. Já os níveis de Mg e Cu (**Tabela 3.27**), apresentaram relativamente ao controlo, apenas diferenças significativas com o ZnSO₄ (respetivamente o 450 e 900 g.ha⁻¹, para o Mg e Cu). Por oposição, os níveis de K (**Tabela 3.27**) foram, face a todas as amostras

biofortificadas, significativamente mais baixos no controlo. Para o P, os valores encontrados não foram consistentes entre as amostras, sendo que só se detetou essencialmente nas amostras com ZnSO₄.

Tabela 3.27 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia, sujeito a irrigação), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atómica. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|--------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | % | | |
| Controlo | 0 | 7,9±0,4a | 4,7±0,4ab | 240±11a | 39,6±1,4a | 12,5±0,1a | 0,031±0,001a | 0,023±0,000d | n.d. |
| | 150 | 11,1±1,2a | 4,9±0,6ab | 223±7ab | 43,2±0,9a | 8,8±2,0ab | 0,031±0,001a | 0,070±0,003b | n.d. |
| ZnO | 450 | 12,3±1,1a | 7,9±1,8a | 231±4ab | 44,4±1,3a | 10,5±1,9ab | 0,029±0,001a | 0,044±0,001c | 0,098±0,057a |
| | 900 | 11,3±0,7a | 5,7±0,8ab | 216±2ab | 41,6±2,0a | 9,0±0,3ab | 0,030±0,002a | 0,094±0,004a | n.d. |
| ZnSO ₄ | 150 | 9,4±3,0a | 5,8±0,5ab | 214±2ab | 42,3±0,4a | 9,7±1,5ab | 0,030±0,000a | 0,074±0,001b | 0,163±0,102a |
| | 450 | 12,3±0,7a | 6,9±0,8ab | 206±6b | 41,4±1,8a | 12,0±1,3a | 0,029±0,001a | 0,062±0,002b | 0,105±0,059a |
| | 900 | 10,6±1,2a | 3,5±0,5b | 234±10ab | 32,7±7,8a | 4,4±2,3b | 0,028±0,002a | 0,086±0,004a | 0,234±0,053a |

*n.d. não detetável

Na casta Castelão (**Tabela 3.28**), a recolha à colheita de frutos foi efetuada a 24 de setembro, tendo-se verificado, que os teores de Zn aumentaram com a aplicação dos fertilizantes ZnO e ZnSO₄ (este último com um aumento progressivo ao longo das diferentes concentrações), ainda que este aumento seja apenas significativo com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ face ao controlo. Os valores de Zn aumentaram entre 2,3 a 37,7 vezes relativamente ao controlo.

Tabela 3.28 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atómica. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|----------|---------|-------------|----------|---------------|--------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | % | | |
| Controlo | 0 | 0,3±0,1b | 5,3±0,8a | 253±6a | 68,2±4,8a | 3,2±0,6b | 0,030±0,001a | 0,137±0,007a | 0,174±0,047a |
| | 150 | 0,9±0,4b | 4,1±0,7a | 244±17a | 45,9±2,1bc | 2,8±0,2b | 0,025±0,002ab | 0,131±0,006a | 0,156±0,066a |
| ZnO | 450 | 0,7±0,1b | 6,1±0,7a | 204±20a | 54,4±2,6b | 3,0±0,3b | 0,022±0,002ab | 0,125±0,005a | 0,114±0,029a |
| | 900 | 5,6±0,8ab | 4,0±0,4a | 218±15a | 33,0±0,9d | 3,0±0,5b | 0,026±0,003ab | 0,131±0,004a | n.d. |
| ZnSO ₄ | 150 | 5,7±0,3ab | 7,9±1,2a | 211±6a | 35,5±1,6cd | 6,0±0,3a | 0,020±0,002b | 0,128±0,006a | 0,080±0,064a |
| | 450 | 6,9±0,5ab | 6,4±1,5a | 207±23a | 44,4±1,2bcd | 3,2±0,7b | 0,023±0,002ab | 0,146±0,002a | n.d. |
| | 900 | 11,3±4,4a | 6,1±0,7a | 222±13a | 45,2±1,5bc | 5,5±0,4a | 0,026±0,002ab | 0,147±0,006a | 0,019±0,013a |

*n.d. não detetável

Por oposição à casta anterior, relativamente ao controlo, não só os níveis de Fe (**Tabela 3.28**) não apresentaram variações significativas, como o Mg e K (**Tabela 3.28**) seguiram a mesma tendência.

Embora o Ca (**Tabela 3.28**) não tenha apresentado diferenças significativas entre a maioria das amostras, com o ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹, a destacar-se com valores significativamente inferiores aos restantes. Os teores de Cu (**Tabela 3.28**) variaram significativamente apenas nas amostras com ZnSO₄ (150 e 900 g.ha⁻¹) com um valor superior, face ao respetivo controlo. O Na (**Tabela 3.28**) apresentou valores máximos no controlo e significativamente diferentes das restantes amostras (não sendo possível identificar uma tendência com a aplicação de ZnO e ZnSO₄). Os níveis de P (**Tabela 3.28**) nesta casta foram mais consistentes, apresentando valores inferiores com o ZnSO₄, mas sem diferenças relevantes a apontar (embora o controlo apresente um valor superior).

Na casta Moscatel (**Tabela 3.29**) efetuou-se a colheita dos frutos a 25 de setembro, tendo-se verificado um teor mais elevado com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ (tal como na casta anterior e com um aumento de 1,7 vezes relativamente ao controlo), apesar de não ser significativo.

Os níveis de Mg e P (**Tabela 3.29**) mantiveram-se sem variações significativas face ao controlo. Já nos teores de Fe e Cu (**Tabela 3.29**) realçaram-se valores significativamente inferiores no controlo face à amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ (entre as restantes amostras não se observam diferenças significativas relativamente ao controlo). Considerando o Na (**Tabela 3.29**), este apresentou valores significativamente mais baixos com o ZnO - 150 g.ha⁻¹ e as restantes amostras não foram relevantes face ao controlo. Os elementos K e o Ca (**Tabela 3.29**) não apresentaram uma tendência clara entre amostras, embora no caso do Ca não se tenham verificado diferenças significativas.

Tabela 3.29 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo, sujeito a irrigação), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|-----------|---------|------------|-------------|---------------|--------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | % | | |
| Controlo | 0 | 7,1±0,4ab | 4,5±1,1b | 214±1a | 52,8±0,3a | 4,10±0,73b | 0,028±0,001a | 0,101±0,001b | 0,130±0,033a |
| ZnO | 150 | 6,7±1,5ab | 6,3±0,2ab | 197±2a | 40,8±0,5b | 3,98±0,46b | 0,024±0,002ab | 0,098±0,002b | 0,185±0,096a |
| | 450 | 6,4±0,7ab | 5,3±1,0ab | 184±10a | 51,4±0,7ab | 5,03±0,11b | 0,030±0,001a | 0,159±0,002a | 0,141±0,020a |
| | 900 | 5,5±1,1b | 6,2±0,8ab | 200±16a | 51,2±1,5ab | 5,06±0,13b | 0,025±0,001ab | 0,105±0,004b | n.d. |
| ZnSO ₄ | 150 | 4,4±1,6b | 5,6±0,1ab | 223±21a | 50,0±3,6ab | 5,85±0,64ab | 0,021±0,001b | 0,105±0,007b | 0,145±0,072a |
| | 450 | 5,1±0,9b | 5,6±0,4ab | 196±10a | 48,9±2,6ab | 4,47±0,37b | 0,027±0,000ab | 0,063±0,004c | 0,096±0,021a |
| | 900 | 12,0±2,2a | 9,5±1,6a | 216±15a | 46,4±3,7ab | 8,53±1,29a | 0,029±0,002a | 0,139±0,011a | 0,074±0,002a |

*n.d. não detetável

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.30**), tal como nas anteriores, efetuou-se uma recolha de uva à colheita visualizando-se um aumento na concentração de Zn entre 1,1 a 1,4 vezes relativamente ao

controle, apesar de não ser significativo (com ambos os fertilizantes na concentração de 450 g.ha⁻¹ a apresentarem os maiores aumentos).

Tabela 3.30 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), à colheita e com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K | P |
|--------------------------------|-----|---------------------|------------|---------|-----------|------------|--------------|--------------|------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | % | | |
| Controlo | 0 | 7,6±0,2ab | 3,9±0,0abc | 227±15a | 51,9±1,2a | 4,9±1,6b | 0,028±0,000a | 0,120±0,001b | n.d. |
| ZnO | 150 | 9,6±0,1a | 2,7±0,3c | 193±4a | 51,0±1,3a | 14,7±3,0ab | 0,025±0,001a | 0,127±0,003b | n.d. |
| | 450 | 10,4±0,4a | 4,0±0,3abc | 213±8a | 50,1±1,4a | 9,1±0,9ab | 0,029±0,001a | 0,153±0,003a | n.d. |
| | 900 | 5,5±0,5b | 3,7±0,6bc | 230±4a | 48,1±2,2a | 6,3±1,5b | 0,028±0,001a | 0,154±0,006a | n.d. |
| ZnSO ₄ | 150 | 8,2±0,1ab | 5,5±0,3ab | 231±17a | 47,2±2,1a | 19,8±3,6a | 0,028±0,001a | 0,158±0,007a | n.d. |
| | 450 | 10,8±1,8a | 4,6±0,4abc | 198±12a | 48,0±2,3a | 11,8±1,2ab | 0,027±0,002a | 0,153±0,007a | n.d. |
| | 900 | 5,3±0,1b | 5,7±0,6a | 213±28a | 49,7±2,0a | 11,9±2,4ab | 0,025±0,002a | 0,163±0,006a | n.d. |

*n.d. não detetável

Nos teores em Mg, Na e Ca (**Tabela 3.30**), relativamente ao controlo, não se detetaram variações significativas entre as diferentes amostras. Os teores de Fe (**Tabela 3.30**), face ao controlo, também não variaram de forma significativa entre as amostras, no entanto destacou-se um valor inferior e superior com o ZnO - 150 g.ha⁻¹ e o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, respetivamente. Os níveis de Cu (**Tabela 3.30**) aumentaram de forma significativa em ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹ comparativamente ao controlo, não se observando outras variações relevantes entre amostras. Os teores de K (**Tabela 3.30**), relativamente ao controlo variaram de modo significativo nas amostras biofortificadas (exceto com o ZnO - 150 g.ha⁻¹), apresentando valores mais elevados.

3.1.4.2.3 Localização e Quantificação dos Elementos Nutricionais a Nível Tecidual com Energia Dispersiva de Raios-X

Equacionando o processamento das castas em estudo (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires) para produção de vinho, efetuou-se uma caracterização da acumulação de Zn a nível tecidual nos frutos (imediatamente após a colheita a 7 de setembro do primeiro ano de ensaio). Neste estudo, na microscopia eletrónica de varrimento acoplada com um dispositivo de espectroscopia dispersiva de energias de raios X (*SEM-EDS*), definiram-se 3 regiões nas uvas (**Figura 3.7**): 1- região interna da película; 2- zona média da película; 3 – zona periférica da película. De forma a analisar as amostras de referência para a biofortificação em Zn, foi usado o Ca como elemento de calibração, por evitar a interferência das variações de concentração dos elementos mais abundantes (**Figuras 3.7 - 3.10**).

Relativamente à casta Syrah (**Figura 3.7**), pareceu subsistir um enriquecimento preferencial em Zn na zona interna da película.

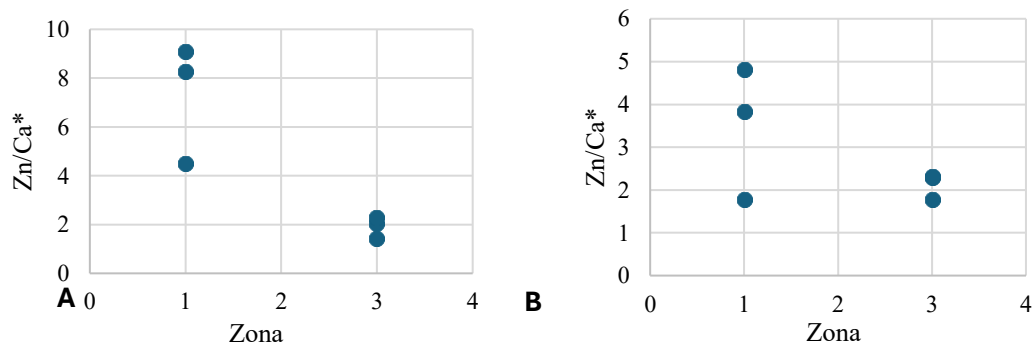


Figura 3.7 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas (n = 3) da casta Syrah e obtidas à colheita, a 7 de setembro do primeiro ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g. ha⁻¹ e (B) ZnSO₄ - 900 g. ha⁻¹.

Na casta Castelão (**Figura 3.8**), salientou-se um possível enriquecimento em Zn na zona interna da película, mais evidente com o ZnO - 900 g. ha⁻¹.

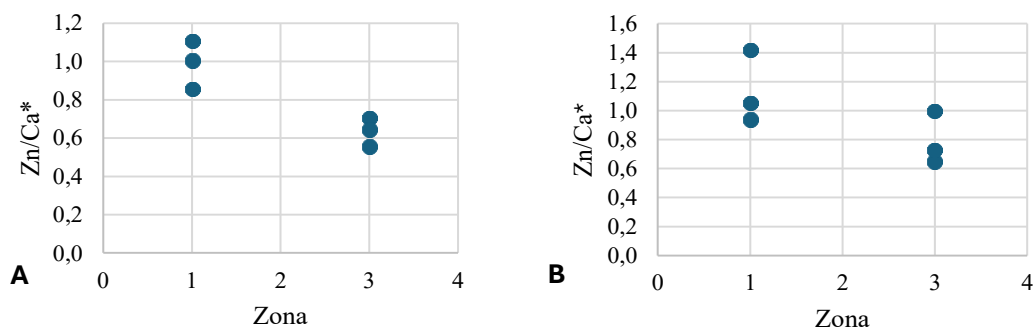


Figura 3.8 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas (n = 3) da casta Syrah e obtidas à colheita, a 7 de setembro do primeiro ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g. ha⁻¹ e (B) ZnSO₄ - 900 g. ha⁻¹.

Já na casta Fernão Pires (**Figura 3.9**) as amostras com ZnO e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ verificou-se um enriquecimento preferencial na zona periférica da película.

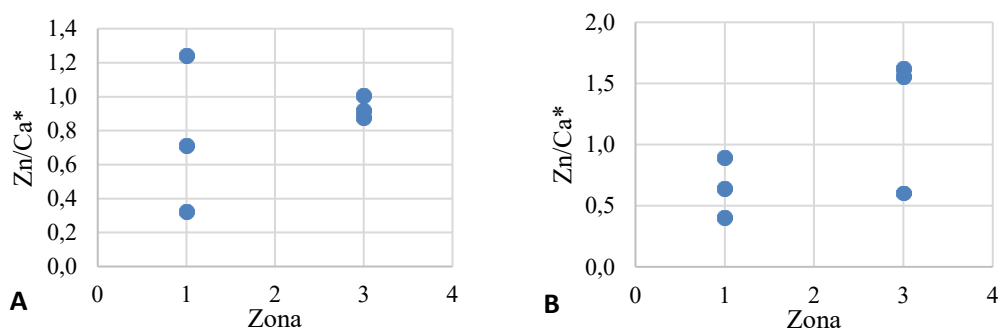


Figura 3.9 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas (n = 3) da casta Fernão Pires e obtidas à colheita, a 7 de setembro do primeiro ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g.ha⁻¹ e (B) ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹.

Relativamente à casta Moscatel (**Figura 3.10**), submetida aos fertilizantes ZnO e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ salientou-se um possível enriquecimento preferencial de Zn na zona periférica da película.

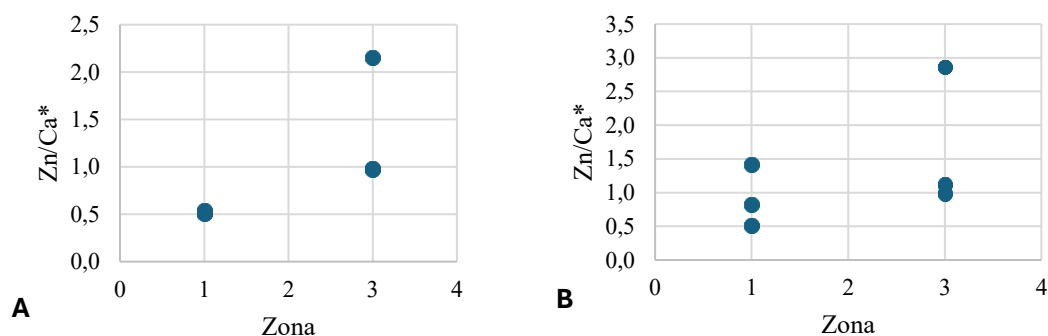


Figura 3.10 - Razão Zn/Ca (calibrado) nas regiões 1 (central), 2 (média) e 3 (periférica) da película (análise efetuada em amostras desidratadas (n = 3) da casta Moscatel e obtidas à colheita, a 7 de setembro do 1º ano) submetida aos fertilizantes (A) ZnO - 900 g.ha⁻¹ e (B) ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹.

Procedeu-se ainda ao estudo das interações entre a acumulação de Zn e os restantes elementos químicos presentes nos diferentes tecidos das uvas em estudo (imediatamente após a colheita), efetuando o mapeamento das alterações evidenciadas, recorrendo à utilização de um sistema μ -EDXRF M4

*Tornado*TM. Definiram-se assim 2 regiões, sendo a 1^a localizada na zona limítrofe da película (após desidratação) e a 2^a nas grainhas destas castas (**Figura 3.11**).

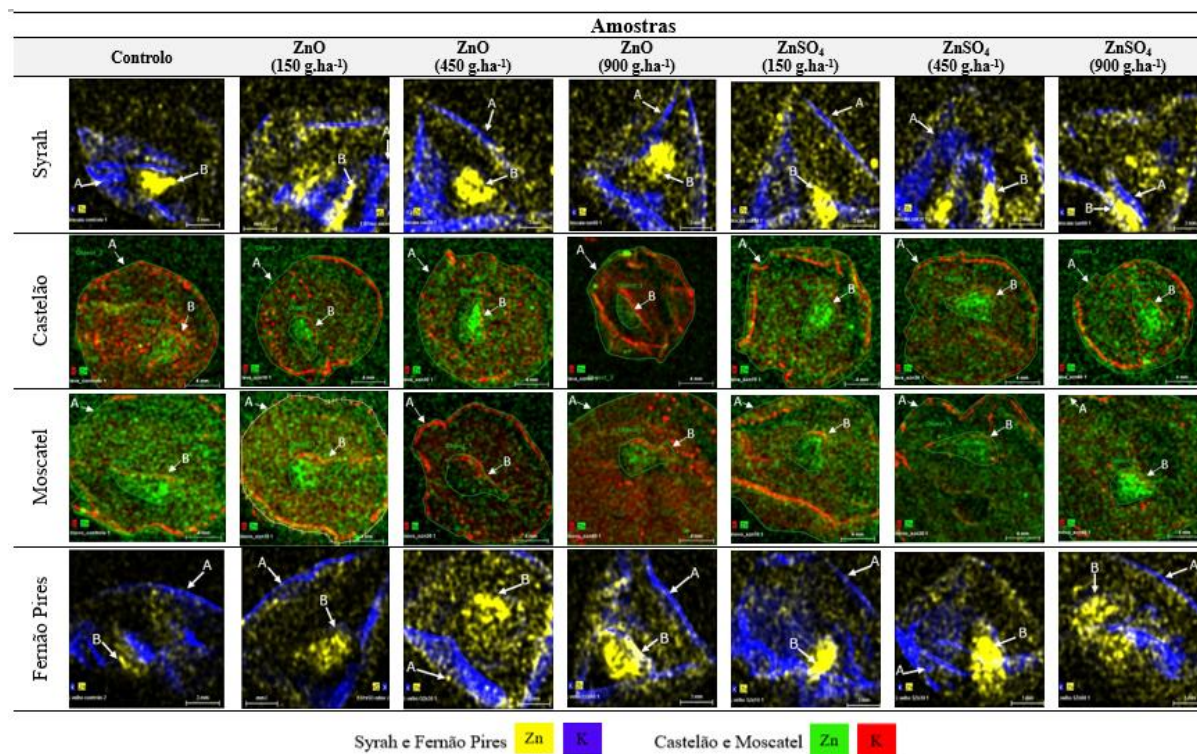


Figura 3.11 - Identificação de duas regiões a película (A) e grainhas (B) de frutos à colheita (considerando o peso seco como referencial) de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo da Biscaia), Castelão (campo do Lagameças), Moscatel (campo do Lau Novo) e Fernão Pires (campo do Lau Velho), de forma a visualizar a nível tecidual o Zn, usando como referencial o K, como elemento que se mantém relativamente uniformemente distribuído nos tecidos da uva.

Através da análise realizada, pela visualização dos mapas tecidulares (**Figura 3.11**), verificou-se um incremento de Zn com a aplicação de ambos os fertilizantes (ZnO e ZnSO₄) na casta Syrah, Castelão e Fernão Pires. No entanto, na casta Moscatel esta visualização não foi evidente.

Para a quantificação dos microelementos minerais (**Tabela 3.31**), determinou-se o Zn, S, P, Mn, Fe e Cu na película e grainhas (tal como mencionado anteriormente como as regiões que foram definidas).

A casta Syrah (**Tabela 3.31**), ao nível dos teores de Zn na película, destacou-se com valores significativamente superiores em todas as amostras biofortificadas face ao controlo (atingindo aumentos significativos - entre 2,1 a 2,5 vezes face ao controlo). No caso do S (**Tabela 3.31**), o valor na amostra controlo estava abaixo do limite de deteção, apresentando as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn, um valor superior e com tendência crescente com a concentração (exceto com o ZnSO₄ - 900

g.ha⁻¹). Relativamente ao P (**Tabela 3.31**), subsistiram muitos casos abaixo do limite de deteção, sendo possível verificar que com os fertilizantes de Zn existe uma diminuição significativa relativamente ao controlo. Na película o Fe e o Cu (**Tabela 3.31**), apresentaram nas uvas sujeitas à biofortificação um incremento significativo em todas as concentrações.

Na película da casta Castelão (**Tabela 3.31**), após a biofortificação em Zn, observou-se para os teores de Zn um incremento, embora apenas significativo nas concentrações mais elevadas (ZnO e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹), variando os teores entre 1,5 a 2,7 vezes face ao controlo. Para o elemento S (**Tabela 3.31**), detetaram-se valores apenas no controlo e no ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹. Já para o P (**Tabela 3.31**) não foi possível estabelecer uma correlação, pois só se detetaram valores num tratamento. Já na casta Castelão, relativamente ao controlo, verificou-se um incremento significativo de Fe (**Tabela 3.31**) apenas nas amostras com ZnSO₄ - 150 e 900 g.ha⁻¹ e ZnO - 900 g.ha⁻¹.

Relativamente à película da casta Moscatel (**Tabela 3.31**), só com o ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹ ocorreu um aumento significativo (sendo 1,4 vezes superior ao teor do controlo), sendo os restantes valores de modo geral, inferiores. No S (**Tabela 3.31**), não se conseguiu estabelecer uma tendência clara, subsistindo diferenças significativas entre todas as amostras, face ao controlo (sendo que uns são significativamente superiores e outros inferiores). Já o P, na casta Moscatel (**Tabela 3.31**), nos casos superiores ao limite de deteção, aparentou uma tendência para aumentar face ao controlo. Para o Fe (**Tabela 3.31**), só se verificou um incremento significativo nas amostras com ZnSO₄ - 150 e 900 g.ha⁻¹. Os teores de Cu (**Tabela 3.31**) variaram, sendo que apenas não apresentam diferenças significativas nas amostras com ZnO e ZnSO₄, na concentração de 450 g.ha⁻¹.

Tal como na película da casta Syrah, a casta Fernão Pires (**Tabela 3.31**) destacou-se com valores significativamente superiores em todas as amostras biofortificadas face ao controlo, variando estes incrementos entre 1,6 a 2,5 vezes. Já o elemento S (**Tabela 3.31**) apresentou um incremento significativo em todos os valores das amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn, e com uma tendência crescente e decrescente com o ZnO e o ZnSO₄, respetivamente. Ao nível dos teores de P (**Tabela 3.31**) não foram detetados valores no controlo, o que poderá indicar que os fertilizantes de Zn possuem um incremento no P. Na película, o Fe e o Cu (**Tabela 3.31**), na casta Fernão Pires, à semelhança da casta Syrah, apresentaram nos valores das uvas sujeitas à biofortificação em Zn, um incremento significativo em todas as concentrações. Ao nível do Cu (**Tabela 3.31**) ocorreram variações entre os valores, exceto com o ZnO e ZnSO₄ na concentração de 450 g.ha⁻¹.

Tabela 3.31 - Teor médio (n = 3) de microelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) na película (após desidratação) das castas Castelão, Syrah, Moscatel e Fernão Pires (provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza.

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | S | P | Fe | Cu | |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | | (mg.kg ⁻¹) | | | | | |
| Syrah | Controlo | 0 | 13,3±0,7b | n.d. | 1099±55a | 45±2c | 15,5±0,8b |
| | ZnO | 150 | 27,8±1,4a | 1190±60b | 224±11c | 113±6b | 40,5±2,0a |
| | | 450 | 33,4±1,7a | 1357±68b | 258±13c | 121±6ab | 35,0±1,8a |
| | | 900 | 32,1±1,6a | 2075±104a | 214±11c | 126±6ab | 35,6±1,8a |
| | ZnSO ₄ | 150 | 30,0±1,5a | 1156±58b | n.d. | 139±7a | 37,3±1,9a |
| | | 450 | 28,0±1,4a | 1399±70b | 465±23b | 108±5b | 37,1±1,9a |
| 900 | | 31,5±1,6a | 857±43c | 14±1d | 108±5b | 37,7±1,9a | |
| Castelão | Controlo | 0 | 20,1±1,0c | 1055±53 | n.d. | 121±6c | 33,9±1,7d |
| | ZnO | 150 | 16,6±0,8c | n.d. | 456±23 | 104±5c | 44,8±2,2c |
| | | 450 | 21,8±1,1c | n.d. | n.d. | 127±6c | 40,2±2,0cd |
| | | 900 | 54,4±2,7a | n.d. | n.d. | 189±10a | 44,9±2,3c |
| | ZnSO ₄ | 150 | 21,5±1,1c | n.d. | n.d. | 156±8b | 55,4±2,8b |
| | | 450 | 17,5±0,9c | n.d. | n.d. | 121±6c | 40,0±2,0cd |
| 900 | | 30,2±1,5b | 341±17 | n.d. | 177±9ab | 67,5±3,4a | |
| Moscatel | Controlo | 0 | 38,3±1,9b | 745±37d | 164±9 | 86±4cd | 40,0±2,0b |
| | ZnO | 150 | 31,1±1,6c | 1449±73b | 1765±88 | 105±5cd | 29,3±1,5c |
| | | 450 | 27,5±1,4cd | 32±2e | n.d. | 111±6c | 35,6±1,8bc |
| | | 900 | 22,7±1,1d | 1011±51c | n.d. | 81±4d | 19,9±1,0d |
| | ZnSO ₄ | 150 | 54,2±2,7a | 2327±116a | 3459±173 | 251±13a | 59,5±3,0a |
| | | 450 | 32,2±1,6bc | 249±13e | n.d. | 80±4d | 33,9±1,7bc |
| 900 | | 23,2±1,2d | n.d. | 480±24 | 182±9b | 54,9±2,8a | |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 23,4±1,2d | 334±17e | n.d. | 91±5e | 26,4±1,3d |
| | ZnO | 150 | 37,5±1,9c | 871±44d | 295±15e | 153±8cd | 50,2±2,5bc |
| | | 450 | 54,4±2,7ab | 1498±75c | 2662±133b | 278±14a | 64,4±3,2a |
| | | 900 | 59,4±3,0a | 2722±136a | 2203±110c | 228±11b | 69,3±3,5a |
| | ZnSO ₄ | 150 | 54,2±2,7ab | 2327±116b | 3459±173a | 251±13ab | 59,5±3,0ab |
| | | 450 | 50,0±2,5b | 1669±83c | 1519±76d | 176±9c | 43,3±2,2c |
| 900 | | 39,8±2,0c | 999±50d | n.d. | 136±7d | 40,7±2,0c | |

*n.d. não detetável

Considerando os valores de microelementos minerais encontrados nas grainhas (**Tabela 3.32**), o Zn nas quatro castas apresentou incrementos com a aplicação dos fertilizantes de Zn. No caso da casta Syrah (**Tabela 3.32**), todos os incrementos foram significativos relativamente ao controlo, apresentando uma tendência crescente com a concentração no caso do ZnSO₄ (atingindo aumentos de 1,7 a 3,1 vezes face ao controlo). No S (**Tabela 3.32**) não foi possível estabelecer uma tendência. Considerando o P (**Tabela 3.32**), verificaram-se valores apenas nas uvas com ZnO e ZnSO₄, observando-se valores superiores com o ZnSO₄. Aquando da quantificação do elemento Fe na grainha (**Tabela 3.32**), observaram-se valores significativamente superiores ao controlo (exceto com o ZnO - 450 g.ha⁻¹). Relativamente ao elemento Cu (**Tabela 3.32**), observou-se um incremento significativo em todas as amostras biofortificadas relativamente ao controlo (exceto com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹).

Para as grainhas da casta Castelão (**Tabela 3.32**) ocorreu apenas um aumento significativo com os fertilizantes nas concentrações mais elevadas do ZnO (450 e 900 g.ha⁻¹), alcançando incrementos de 1,3 a 1,7 vezes comparativamente ao controlo. Para o S (**Tabela 3.32**), tal como verificado na outra casta tinta, não foi possível estabelecer uma correlação entre as amostras. Ao nível do P (**Tabela 3.32**), apenas se observaram valores numa amostra, nomeadamente com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹ (estando em concordância com o que foi observado na casta Syrah, onde esta amostra revelou valores superiores). Relativamente ao Fe (**Tabela 3.32**), verificou-se um valor elevado no controlo e significativamente superior a todos os restantes valores, exceto com o ZnO e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹. Os valores de Cu (**Tabela 3.32**) no controlo foram mais elevados, sendo significativamente diferentes das amostras com ZnO - 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 150 e 450 g.ha⁻¹.

Ao contrário das castas já mencionadas, as grainhas da casta Moscatel (**Tabela 3.32**), apresentaram um aumento significativo nas amostras com ZnSO₄ - 450 e 900 g.ha⁻¹ (teores 1,4 a 2,1 vezes superiores ao controlo), embora a maioria dos valores sejam superiores ao controlo. Já o S (**Tabela 3.32**), foram quantificados mais valores, sendo que o controlo apresentou o valor mais baixo face às restantes amostras. Os teores de P (**Tabela 3.32**), ao contrário das restantes castas, apenas foram detetado na amostra com o ZnO - 450 g.ha⁻¹. O elemento Fe na grainha (**Tabela 3.32**), apresentou valores significativamente superiores ao controlo. Para o elemento Cu (**Tabela 3.32**), apenas ocorreram diferenças significativas em três dos valores sujeitos às pulverizações foliares dos fertilizantes de Zn, nomeadamente com o ZnO - 450 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 450 e 900 g.ha⁻¹ (apresentando valores superiores).

Nas grainhas da casta Fernão Pires (**Tabela 3.32**) todos os valores apresentaram um incremento significativo (entre 1,5 a 2,0 vezes maiores que os níveis de Zn no controlo), exceto os valores das amostras com ZnO - 150 g.ha⁻¹ e o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹. Relativamente ao S (**Tabela 3.32**), foram detetados valores no controlo, nas duas concentrações mais elevadas de ZnO (450 e 900 g.ha⁻¹) e na amostra com ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹. O P nesta casta (**Tabela 3.32**), apresentou teores detetáveis apenas nas amostras biofortificadas, sendo que o valor mais elevado foi com o ZnSO₄ e o mais baixo com ZnO. Em termos dos teores de Fe (**Tabela 3.32**), face ao controlo, verificaram-se diferenças significativas nas amostras com ZnO - 150 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 150 e 450 g.ha⁻¹. O Cu (**Tabela 3.32**), relativamente ao controlo, apresentou diferenças significativas em todas as amostras biofortificadas em Zn, exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹.

Tabela 3.32 - Teor médio (n = 3) de microelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) nas grainhas das quatro castas em estudo (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza.

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | S | P | Fe | Cu | |
|---------------------------------|-------------------|------------------------|------------|---------|------------|-------------|------------|
| | | (mg.kg ⁻¹) | | | | | |
| Syrah | Controlo | 0 | 8,7±0,4d | 445±22 | n.d. | 22,6±1,1e | 9,4±0,5c |
| | ZnO | 150 | 27,6±1,4a | n.d. | 435±22 | 81,6±4,1a | 28,4±1,4a |
| | | 450 | 14,8±0,7c | n.d. | n.d. | 33,8±1,7de | 11,9±0,6c |
| | | 900 | 15,4±0,8c | 17±1 | 673±34 | 43,9±2,2d | 18,1±0,9b |
| | ZnSO ₄ | 150 | 16,5±0,8bc | n.d. | n.d. | 67,3±3,4bc | 28,8±1,4a |
| | | 450 | 17,1±0,9bc | 688±34 | 2196±110 | 58,3±2,9c | 19,8±1,0b |
| 900 | | 19,1±1,0b | n.d. | 1878±94 | 74,3±3,7ab | 25,2±1,3a | |
| Castelão | Controlo | 0 | 16,0±0,8c | n.d. | n.d. | 53,2±2,7a | 19,0±0,1a |
| | ZnO | 150 | 11,0±0,6d | n.d. | n.d. | 38,1±1,9c | 18,0±0,9a |
| | | 450 | 20,9±1,0b | n.d. | n.d. | 42,5±2,1bc | 18,7±0,9a |
| | | 900 | 27,8±1,4a | 943±47 | n.d. | 50,6±2,5ab | 12,7±0,6c |
| | ZnSO ₄ | 150 | 10,6±0,5d | n.d. | n.d. | 24,4±1,2d | 14,3±0,7bc |
| | | 450 | 15,5±0,8c | 1830±92 | 901±45 | 37,3±1,9c | 14,9±0,7bc |
| 900 | | 15,7±0,8c | n.d. | n.d. | 57,3±2,9a | 16,7±0,8ab | |
| Moscatel | Controlo | 0 | 13,6±0,7c | 102±5 | n.d. | 18,9±0,9e | 11,6±0,6d |
| | ZnO | 150 | 15,6±0,8c | 1015±51 | n.d. | 38,6±1,9cd | 15,7±0,8cd |
| | | 450 | 14,6±0,7c | n.d. | 1568±78 | 62,1±3,1b | 21,3±1,1b |
| | | 900 | 16,8±0,8bc | n.d. | n.d. | 41,5±2,1cd | 13,9±0,7d |
| | ZnSO ₄ | 150 | 9,8±0,5d | 452±23 | n.d. | 35,7±1,8d | 12,4±0,6d |
| | | 450 | 19,7±1,0b | 485±24 | n.d. | 48,2±2,4c | 18,6±0,9bc |
| 900 | | 28,6±1,4a | n.d. | n.d. | 96,0±4,8a | 42,9±2,1a | |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 24,6±1,2d | 1752±88 | n.d. | 91,6±4,6c | 31,3±1,6c |
| | ZnO | 150 | 17,1±0,9e | n.d. | n.d. | 36,3±1,8d | 16,8±0,8d |
| | | 450 | 37,1±1,9bc | 439±22 | 1148±57 | 106,0±5,3bc | 44,9±2,3b |
| | | 900 | 44,7±2,2a | 1975±99 | 3403±170 | 105,0±5,2bc | 41,5±2,1b |
| | ZnSO ₄ | 150 | 49,9±2,5a | 1024±51 | 5329±266 | 214,0±10,7a | 53,4±2,7a |
| | | 450 | 42,9±2,2ab | n.d. | 2977±149 | 122,0±6,1b | 42,3±2,1b |
| 900 | | 30,1±1,5cd | n.d. | n.d. | 96,0±4,8c | 31,1±1,6c | |

*n.d. não detetável

A quantificação dos macroelementos minerais também foi efetuada na película (**Tabela 3.33**), tendo-se encontrado na casta Syrah um valor inferior de Mg no controlo, com os valores das uvas sujeitas aos fertilizantes de Zn a apresentarem valores significativamente mais elevados (exceto com o ZnO - 450 g.ha⁻¹). Considerando o K e o Ca (**Tabela 3.33**), o mesmo se verificou, sendo todos os valores significativamente superiores ao controlo (exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, no caso do K).

Na casta Castelão (**Tabela 3.33**), o Mg e o K, à semelhança da casta anterior, apresentaram valores significativamente inferiores no controlo (exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ no caso do Mg e o ZnO - 900 g.ha⁻¹, no caso do K). Relativamente ao Ca (**Tabela 3.33**), apesar da tendência ser a mesma, existiram duas amostras com valores significativamente semelhantes ao controlo: o ZnSO₄ - 150 e 450 g.ha⁻¹ (embora se observem valores superiores nestes).

A casta Moscatel no elemento Mg (**Tabela 3.33**) apresentou diferenças significativas nas amostras com concentração superior de ZnO e ZnSO₄ (900 g.ha⁻¹), sendo respetivamente superiores e inferiores ao controlo. Similarmente, o K e o Ca (**Tabela 3.33**) apresentaram diferenças significativas na maioria dos casos, exceto nas amostras com ZnO e ZnSO₄ (450 g.ha⁻¹), no caso do K, e com o ZnO - 150 e 450 g.ha⁻¹, no caso do Ca (apresentando valores superiores com o ZnSO₄).

Considerando a casta Fernão Pires (**Tabela 3.33**), o Mg apresentou um valor significativamente superior no controlo, relativamente às restantes amostras (exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹). Por contraste, o K e Ca (**Tabela 3.33**) apresentaram valores significativamente inferiores no controlo face às restantes amostras (no entanto não se observou uma tendência entre os fertilizantes e concentrações).

Tabela 3.33 - Teor médio (n = 3) de macroelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) na película (após desidratação) das castas em estudo (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza.

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Mg | K | Ca | |
|--------------------------------|-------------------|------------|------------|--------------|-------------|
| | | | (%) | | |
| Syrah | Controlo | 0 | 2,89±0,1e | 3,82±0,19e | 0,34±0,0e |
| | ZnO | 150 | 11,8±0,6a | 6,14±0,31cd | 0,61±0,03cd |
| | | 450 | 3,6±0,2e | 7,64±0,38b | 0,72±0,04bc |
| | | 900 | 7,2±0,4c | 7,16±0,36bc | 0,80±0,04ab |
| | ZnSO ₄ | 150 | 5,1±0,3d | 9,01±0,45a | 0,88±0,04a |
| | | 450 | 5,7±0,3d | 5,71±0,29d | 0,71±0,04bc |
| 900 | | 10,1±0,5b | 4,16±0,21e | 0,57±0,03d | |
| Castelão | Controlo | 0 | 17,9±0,9d | 5,75±0,29d | 0,42±0,02d |
| | ZnO | 150 | 28,5±1,4ab | 10,90±0,54bc | 0,75±0,04b |
| | | 450 | 25,0±1,3bc | 9,35±0,47c | 0,57±0,03c |
| | | 900 | 33,5±1,7a | 7,29±0,36d | 1,02±0,05a |
| | ZnSO ₄ | 150 | 25,2±1,3bc | 12,90±0,65ab | 0,53±0,03cd |
| | | 450 | 27,2±1,4b | 9,91±0,50c | 0,49±0,02cd |
| 900 | | 21,9±1,1cd | 13,3±0,67a | 0,92±0,05a | |
| Moscatel | Controlo | 0 | 27,5±1,4bc | 7,73±0,39c | 0,47±0,02b |
| | ZnO | 150 | 31,4±1,6ab | 5,33±0,27de | 0,58±0,03b |
| | | 450 | 30,0±1,8ab | 6,81±0,34cd | 0,50±0,03b |
| | | 900 | 35,0±1,8a | 4,31±0,22e | 0,33±0,02c |
| | ZnSO ₄ | 150 | 21,6±1,1cd | 20,7±1,04a | 0,90±0,04a |
| | | 450 | 31,0±1,6ab | 6,87±0,34cd | 0,94±0,05a |
| 900 | | 20,8±1,0d | 9,84±0,49b | 0,83±0,04a | |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 10,0±0,5a | 5,44±0,27d | 0,35±0,02e |
| | ZnO | 150 | 7,0±0,4b | 10,60±0,53c | 0,98±0,02c |
| | | 450 | 5,8±0,3bc | 15,40±0,77b | 1,89±0,09a |
| | | 900 | 5,5±0,3bc | 10,9±0,55c | 1,24±0,06b |
| | ZnSO ₄ | 150 | 4,5±0,3c | 20,7±1,04a | 0,90±0,04c |
| | | 450 | 6,9±0,3b | 9,34±0,47c | 1,23±0,06b |
| 900 | | 9,0±0,5a | 9,16±0,46c | 0,63±0,03d | |

Nas grainhas, na quantificação dos macroelementos na casta Syrah (**Tabela 3.34**), relativamente ao elemento Mg, para as uvas controlo, os valores encontravam-se abaixo do limite de deteção, havendo uma tendência para valores superiores com o ZnSO₄ (exceto o ZnO - 150 g.ha⁻¹). Relativamente ao K e Ca (**Tabela 3.34**) observaram-se valores significativamente superiores face ao controlo, exceto nas amostras com ZnO, nas concentrações mais elevadas (450 e 900 g.ha⁻¹), no caso do K, e o ZnO - 450 g.ha⁻¹, no caso do Ca.

Tabela 3.34 - Teor médio (n = 3) de macroelementos minerais (considerando o peso seco como referencial) nas grainhas das castas em estudo (Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, provenientes das vinhas Lagameças, Biscaia, Lau Novo e Lau Velho, respetivamente), a 7 de setembro (à colheita), e respetivo grau de incerteza.

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Mg | K (%) | Ca | |
|--------------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Syrah | Controlo | 0 | n.d. | 1,96±0,10d | 0,56±0,03e |
| | ZnO | 150 | 16,5±0,8a | 4,55±0,23a | 0,84±0,04cd |
| | | 450 | 0,29±0,01c | 1,62±0,08d | 0,72±0,04de |
| | | 900 | 1,51±0,08c | 1,85±0,09d | 0,96±0,05bc |
| | ZnSO ₄ | 150 | 2,89±0,14b | 3,17±0,16bc | 1,89±0,09a |
| | | 450 | 4,20±0,21b | 2,64±0,13c | 1,10±0,06b |
| 900 | | 4,00±0,20b | 3,33±0,17b | 1,11±0,06b | |
| Castelão | Controlo | 0 | 13,00±0,65a | 2,85±0,14ab | 0,41±0,02cd |
| | ZnO | 150 | 10,30±0,52b | 2,37±0,12b | 0,95±0,05a |
| | | 450 | 6,12±0,31c | 2,83±0,14ab | 0,52±0,03bc |
| | | 900 | 13,20±0,66a | 1,37±0,07c | 1,06±0,05a |
| | ZnSO ₄ | 150 | 1,53±0,08e | 2,39±0,12b | 0,12±0,01e |
| | | 450 | 3,38±0,17d | 2,74±0,14ab | 0,23±0,01de |
| 900 | | 7,15±0,36c | 2,91±0,15a | 0,69±0,03b | |
| Moscatel | Controlo | 0 | 1,80±0,09d | 2,09±0,10cd | 0,19±0,01e |
| | ZnO | 150 | 3,96±0,20c | 2,14±0,11cd | 0,49±0,02d |
| | | 450 | 8,37±0,42b | 2,53±0,11c | 0,35±0,02d |
| | | 900 | 6,81±0,34b | 1,84±0,09de | 0,71±0,04c |
| | ZnSO ₄ | 150 | n.d. | 1,59±0,08e | 0,12±0,01e |
| | | 450 | 7,65±0,38b | 3,16±0,16b | 1,13±0,06b |
| 900 | | 13,50±0,67a | 3,87±0,19a | 1,30±0,06a | |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 12,4±0,62a | 6,11±0,31b | 0,82±0,04e |
| | ZnO | 150 | 5,11±0,26c | 2,16±0,11d | 1,47±0,07d |
| | | 450 | 0,39±0,02e | 6,40±0,32b | 2,98±0,15a |
| | | 900 | 2,78±0,14d | 5,16±0,26bc | 1,88±0,09c |
| | ZnSO ₄ | 150 | 12,0±0,60a | 10,9±0,55a | 1,47±0,07d |
| | | 450 | 8,46±0,42b | 4,32±0,22c | 2,42±0,12b |
| 900 | | 3,55±0,18d | 5,25±0,26bc | 1,03±0,05e | |

Já na casta Castelão (**Tabela 3.34**), na grainha o elemento Mg apresentou valores significativamente superiores no controlo, comparativamente às uvas sujeitas aos fertilizantes de Zn (exceto ZnO - 900 g.ha⁻¹). Por contraste, observaram-se teores de K (**Tabela 3.34**) significativamente semelhantes em todas as uvas analisadas (exceto com o ZnO - 900 g.ha⁻¹). Ao nível do Ca (**Tabela 3.34**), observou-se

uma variação nos valores, ocorrendo diferenças significativas na maioria dos casos (exceto com o ZnO e ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹), embora com uma tendência para valores superiores nas amostras com ZnO.

A casta Moscatel, à semelhança da casta Syrah (**Tabela 3.34**), nas grainhas não apresentou valores de Mg na amostra com o ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹. No entanto, relativamente ao controlo, todas as uvas sujeitas aos fertilizantes de Zn apresentaram um incremento significativo face ao controlo. Já no K (**Tabela 3.34**) verificou-se a ausência de diferenças significativas, comparando o controlo com as amostras com ZnO, porém com o ZnSO₄ ocorreram diferenças significativas (com as concentrações mais elevadas de ZnSO₄ a apresentarem teores superiores). Ao nível do Ca (**Tabela 3.34**), foram verificados aumentos significativos em todas as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn (exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹), evidenciando-se com valores superiores as amostras com a concentração de 450 g.ha⁻¹ de ambos os fertilizantes.

A casta Fernão Pires nas grainhas (**Tabela 3.34**), tal como na película, apresentou um valor significativamente superior de Mg no controlo, face às restantes amostras (exceto com o ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹). Ao nível do K (**Tabela 3.34**), os teores foram significativamente diferentes no controlo, face às amostras biofortificadas, exceto com o ZnO - 450 g.ha⁻¹ e o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ (não se observando uma tendência). Os teores de Ca (**Tabela 3.34**), foram significativamente superiores nas amostras com os fertilizantes de Zn relativamente ao controlo (exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹).

3.1.5 Parâmetros de Qualidade da Uva

3.1.5.1 Peso Fresco do Cacho, Densidade e Percentagem de Peso Seco

Na casta Syrah, o peso fresco do cacho, a densidade, e o peso seco não variaram significativamente entre as amostras (**Tabela 3.35**), oscilando entre 206 – 322 g, 939 – 1419 kg.m⁻³ e 16,3 – 22,0 %, respetivamente. O teor em sólidos solúveis totais apresentou valores mínimos e máximos no controlo e com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, respetivamente.

Tabela 3.35 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah, obtidas no campo Biscaia no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg.m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 322 \pm 25a | 939 \pm 69 a | 18,8 \pm 1,7a |
| | 150 | 308 \pm 20a | 1045 \pm 55a | 22,0 \pm 0,5a |
| ZnO | 450 | 220 \pm 25a | 1230 \pm 70a | 20,0 \pm 1,6a |
| | 900 | 206 \pm 39a | 1161 \pm 15a | 18,1 \pm 2,1a |
| | 150 | 224 \pm 16a | 1286 \pm 30a | 16,3 \pm 1,4a |
| ZnSO ₄ | 450 | 305 \pm 31a | 1323 \pm 77a | 19,9 \pm 0,2a |
| | 900 | 264 \pm 60a | 1419 \pm 16a | 20,9 \pm 1,0a |

Relativamente à casta Castelão, o peso fresco do cacho, a densidade, e a percentagem de peso seco (**Tabela 3.36**), tal como na Syrah, não variaram significativamente entre as diferentes amostras, oscilando entre 200 – 362 g, 967 – 1556 kg. m⁻³ e 20,1 – 23,2 %, respetivamente.

Tabela 3.36 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Castelão, obtidas no campo Lagameças no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras(g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg.m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 296 \pm 24a | 1325 \pm 22a | 20,1 \pm 0,4a |
| | 150 | 362 \pm 30a | 1277 \pm 67a | 21,7 \pm 2,8a |
| ZnO | 450 | 200 \pm 47a | 1556 \pm 22a | 22,2 \pm 2,1a |
| | 900 | 353 \pm 22a | 1097 \pm 12a | 21,8 \pm 1,3a |
| | 150 | 356 \pm 54a | 967 \pm 97a | 20,1 \pm 0,6a |
| ZnSO ₄ | 450 | 248 \pm 0a | 980 \pm 34a | 23,2 \pm 0,3a |
| | 900 | 200 \pm 47a | 1083 \pm 48a | 21,4 \pm 1,3a |

Na casta Moscatel, o peso fresco do cacho, a densidade e a percentagem de peso seco (**Tabela 3.37**), não se verificaram diferenças significativas, oscilando entre 262 – 406 g, 962 – 1209 kg.m⁻³ e 19,0 – 21,8%, respetivamente.

Tabela 3.37 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Moscatel, obtidas no campo Lau Novo no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg.m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo 0 | 364 \pm 65a | 1014 \pm 27a | 15,9 \pm 1,2a |
| 150 | 406 \pm 96a | 1209 \pm 65a | 21,8 \pm 0,8a |
| ZnO 450 | 337 \pm 56a | 1026 \pm 94a | 19,1 \pm 1,6a |
| 900 | 262 \pm 20a | 1078 \pm 44a | 19,0 \pm 2,4a |
| 150 | 311 \pm 90a | 962 \pm 71a | 21,3 \pm 3,9a |
| ZnSO ₄ 450 | 290 \pm 51a | 1185 \pm 56a | 19,4 \pm 4,7a |
| 900 | 391 \pm 25a | 1170 \pm 53a | 20,7 \pm 2,0a |

Na casta Fernão Pires, à semelhança das restantes castas, considerando o peso fresco do cacho, a densidade e percentagem de peso seco (**Tabela 3.38**), não se observaram variações relevantes entre as amostras, oscilando entre 268 – 362 g, 1000 – 1616 kg. m⁻³, e 16,5 – 24,8 %, respetivamente.

Tabela 3.38 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco, em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires, obtidas no campo Lau Velho no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg.m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo 0 | 268 \pm 20a | 1150 \pm 211a | 24,8 \pm 0,5a |
| 150 | 298 \pm 42a | 1000 \pm 127a | 23,4 \pm 0,9a |
| ZnO 450 | 362 \pm 35a | 1616 \pm 544a | 18,6 \pm 1,7a |
| 900 | 284 \pm 36a | 1281 \pm 120a | 24,5 \pm 2,7a |
| 150 | 285 \pm 41a | 1583 \pm 162a | 23,1 \pm 3,1a |
| ZnSO ₄ 450 | 295 \pm 26a | 1028 \pm 149a | 21,4 \pm 2,6a |
| 900 | 291 \pm 30a | 1183 \pm 57a | 16,5 \pm 0,9a |

3.1.5.2 Parâmetros Colorimétricos

De forma a aferir a qualidade dos frutos e a influência que os fertilizantes de Zn podem deter, torna-se útil considerar os parâmetros colorimétricos, pois são indicadores dos diferentes graus de maturação dos frutos.

Na casta Syrah (**Figura 3.12**), verificaram-se acentuadas variações nos parâmetros colorimétricos (exceto no parâmetro L após a 2^a pulverização e no parâmetro b*). Relativamente ao parâmetro L, após a 3^a pulverização, embora subsistam variações, apenas a amostra com ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹ foi

significativamente diferente do controle. No parâmetro a^* verificou-se uma tendência para valores superiores após a 2ª pulverização foliar, mas na 3ª pulverização detetou-se um valor superior nas uvas controle. Ao nível do parâmetro b^* não se observaram diferenças significativas em nenhuma das datas (12 e 27 de julho). À colheita, a casta Syrah apenas apresentou variações significativas no parâmetro a^* , possivelmente decorrente da heterogeneidade no respetivo desenvolvimento.

Na casta Castelão (**Figura 3.12**), detetaram-se variações em todos os parâmetros colorimétricos. Em relação ao parâmetro L, após a 2ª pulverização foliar, verificaram-se predominantemente valores inferiores no controle, face às uvas pulverizadas com os fertilizantes ZnO e ZnSO₄. Já após a 3ª pulverização, as uvas com ZnO apresentaram valores mais próximos das uvas controle (salientando-se a existência de muitas variações nesta fase de desenvolvimento). No parâmetro a^* , nas duas datas de pulverização foliar, as variações não foram significativas face ao controle (exceto na 2ª pulverização com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ e na 3ª pulverização com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹). Relativamente ao parâmetro b^* , após a 2ª pulverização, verificou-se uma tendência para valores superiores nas amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn face às uvas controle, embora na 3ª pulverização os valores sejam maioritariamente inferiores nas uvas biofortificadas. À colheita, após a casta tinta estar desenvolvida, não se verificaram diferenças significativas entre as amostras com ZnO e ZnSO₄ relativamente ao controle, para qualquer dos parâmetros colorimétricos.

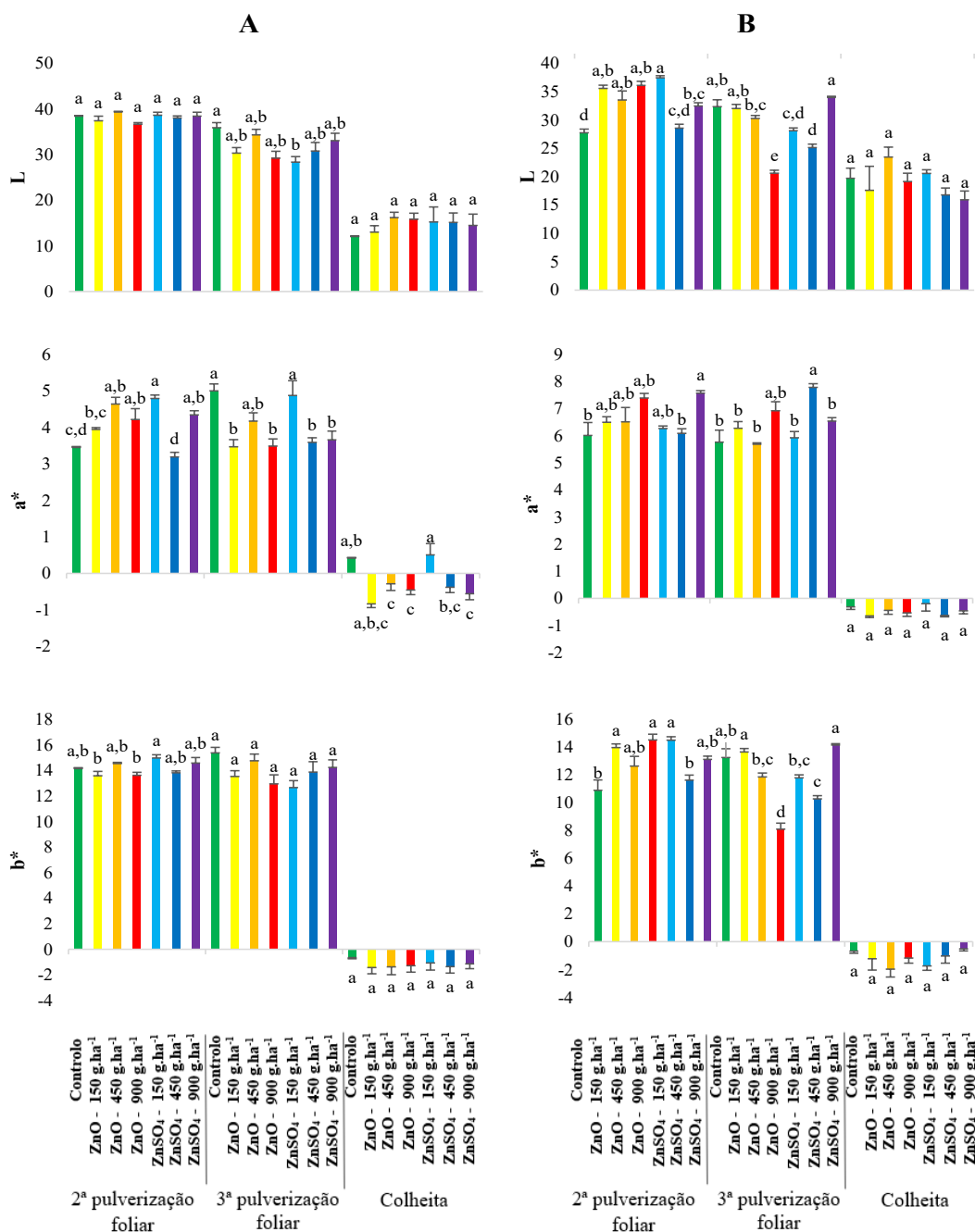


Figura 3.12 - Valores médios e erro padrão ($n = 3$) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a^* verde – vermelho e b^* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas tintas Syrah (A) e Castelão (B), a 12 de julho, após a 2ª pulverização foliar, a 27 de julho, após a 3ª pulverização foliar e à colheita (6 de outubro e 24 de setembro para a casta Syrah e Castelão, respetivamente). As letras a - e indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

Na casta Moscatel (**Figura 3.13**), no parâmetro L constatou-se a ausência de diferenças significativas em ambas as datas de pulverização foliar. Relativamente ao parâmetro a^* , de modo geral, relativamente ao controlo, os frutos encontravam-se significativamente semelhantes, ocorrendo apenas

diferenças na 2ª pulverização foliar com o tratamento $\text{ZnSO}_4 - 150 \text{ g.ha}^{-1}$. Em termos do parâmetro b^* , verificou-se a ausência de diferenças significativas nestas fases de desenvolvimento. À colheita, a casta Moscatel não apresentou variações significativas entre as uvas controle e as uvas biofortificadas em Zn.

Na casta Fernão Pires (**Figura 3.13**), após a 2ª pulverização foliar, a 12 de julho, a análise colorimétrica do parâmetro L dos frutos variou de forma significativa, indicando provavelmente diferentes graus de desenvolvimento. Após a 2ª pulverização verificaram-se, maioritariamente, valores de luminosidade significativamente superiores nos frutos sujeitos a pulverizações com ZnO e ZnSO_4 , contudo depois da 3ª pulverização os valores relativamente ao controle foram significativamente similares (exceto com o $\text{ZnSO}_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$). Ao nível do parâmetro a^* , verificou-se a ausência de diferenças significativas nesta fase de desenvolvimento. Já no parâmetro b^* foi observada a mesma tendência que no parâmetro L, em ambas as duas fases de pulverização (neste caso sendo todos significativamente semelhantes às uvas controle). À colheita (**Figura 3.13**), todos os parâmetros colorimétricos da casta Fernão Pires revelaram ausência de diferenças significativas (exceto no parâmetro L, entre o controle e o $\text{ZnO} - 150 \text{ g.ha}^{-1}$).

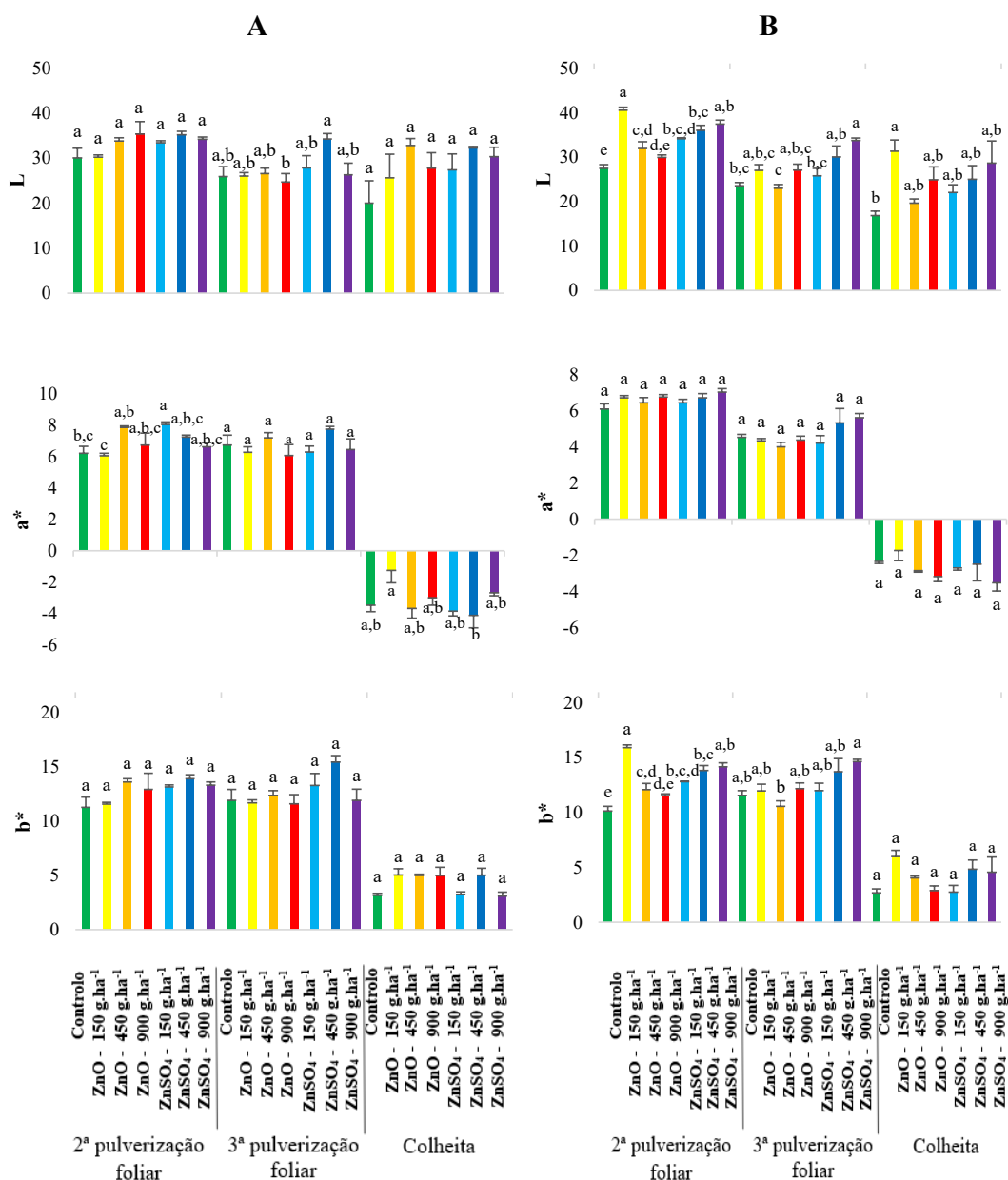


Figura 3.13 - Valores médios e erro padrão ($n = 3$) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a^* verde – vermelho e b^* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas brancas Moscatel (A) e Fernão Pires (B), a 12 de julho após a 2ª pulverização foliar, a 27 de julho, após a 3ª pulverização foliar e à colheita (25 e 17 de setembro para a casta Moscatel e Fernão Pires, respetivamente). As letras a - e indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

Efetuada a análise colorimétrica de varrimento na região espectral do visível (450-650 nm), à colheita, nas castas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires (**Figura 3.14**), prevaleceram valores de transmitância superiores nos 550 e 650 nm (ainda que com intensidades diferenciadas).

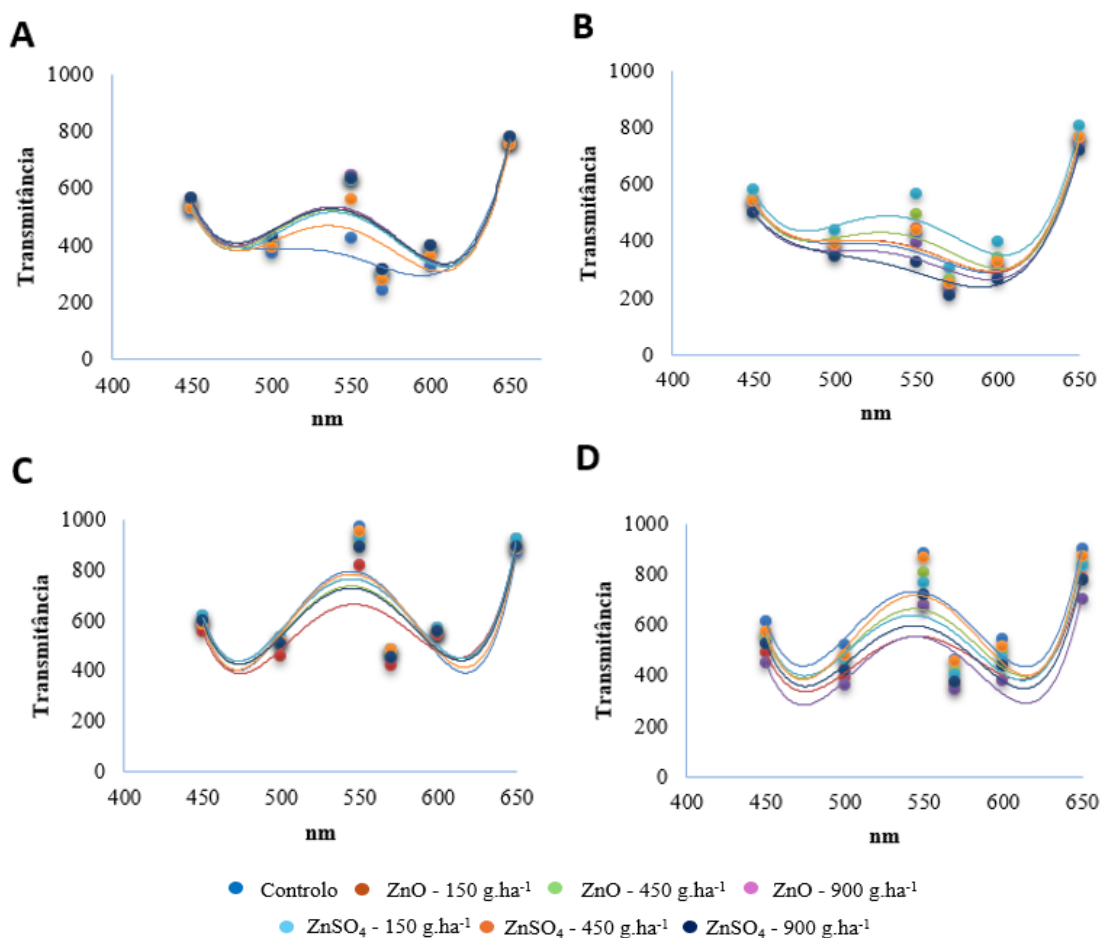


Figura 3.14 - Valores médios da transmitância colorimétrica ($n = 3$), na banda dos 450 — 650 nm, na película dos frutos à colheita da casta *Vitis vinífera*, no primeiro ano de ensaio experimental. (A) Casta Syrah; (B) Casta Castelão; (C) Casta Moscatel; (D) Casta Fernão Pires. Os valores e respetivo processamento estatístico encontra-se no Anexo A.3.

A casta Syrah (**Figura 3.14**) foi a única onde subsistiram diferenças significativas em vários comprimentos de onda. As restantes castas não evidenciaram diferenças significativas, embora se evidenciassem algumas variações.

3.1.5.3 Teor de Sólidos Solúveis Totais e Açúcares Solúveis

Na casta Castelão e Fernão Pires (**Tabela 3.39**), o teor em sólidos solúveis totais não apresentou variações relevantes entre as diferentes amostras face ao controlo. Já a casta Syrah (**Tabela 3.39**) apresentou um valor significativamente inferior no controlo e na amostra com $\text{ZnSO}_4 - 150 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$, comparativamente às restantes amostras (sendo de destacar a amostra com $\text{ZnSO}_4 - 900 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ com o valor mais elevado). De igual modo, a casta Moscatel (**Tabela 3.39**) revelou valores significativamente inferiores no controlo e nas amostras com $\text{ZnSO}_4 - 450$ e $900 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$, relativamente às restantes amostras.

Considerando as quatro castas em estudo (**Tabela 3.39**), os valores da Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires oscilaram entre 13,10 – 18,10°Brix, 17,67 – 19,87 °Brix, 14,47 – 21,20°Brix e 14,00 – 21,83°Brix, respetivamente.

Tabela 3.39 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo da Biscaia), Castelão (campo do Lagameças), Moscatel (campo do Lau Novo) e Fernão Pires (Campo Lau do Velho), no primeiro ano de ensaio experimental. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Syrah | Castelão | Moscatel | Fernão Pires |
|--------------------------------|-----|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Controlo | 0 | 13,10 \pm 0,31d | 18,00 \pm 0,05a | 14,47 \pm 0,07b | 20,50 \pm 0,62a |
| ZnO | 150 | 17,53 \pm 0,79ab | 17,67 \pm 1,15a | 21,20 \pm 1,62a | 18,83 \pm 0,14a |
| | 450 | 16,83 \pm 0,36abc | 19,77 \pm 0,32a | 15,93 \pm 0,76ab | 14,00 \pm 0,47a |
| | 900 | 16,33 \pm 0,07abc | 19,87 \pm 0,58a | 16,03 \pm 0,84ab | 21,83 \pm 1,16a |
| ZnSO ₄ | 150 | 14,33 \pm 0,47cd | 19,30 \pm 0,85a | 18,40 \pm 0,70ab | 19,00 \pm 0,47a |
| | 450 | 15,13 \pm 0,22bc | 19,63 \pm 0,24a | 13,50 \pm 0,24b | 18,70 \pm 1,93a |
| | 900 | 18,10 \pm 0,48a | 19,03 \pm 0,50a | 17,33 \pm 1,52ab | 14,00 \pm 0,47a |

Os açúcares produzidos através da fotossíntese são transportados sob a forma de sacarose, que ao chegar aos bagos é hidrolisada em frutose e glicose, sendo estes os açúcares predominantes nas uvas. Neste enquadramento, foi determinado o perfil de açúcares solúveis presentes nas uvas (sacarose, glucose e frutose) das quatro castas em estudo. O perfil de açúcares solúveis nas uvas controlo (**Figura 3.15**), diferiu entre as castas brancas e tintas, observando-se a seguinte ordem no primeiro caso: Frutose > Glucose > Sacarose; e no segundo caso Glucose > Frutose > Sacarose.

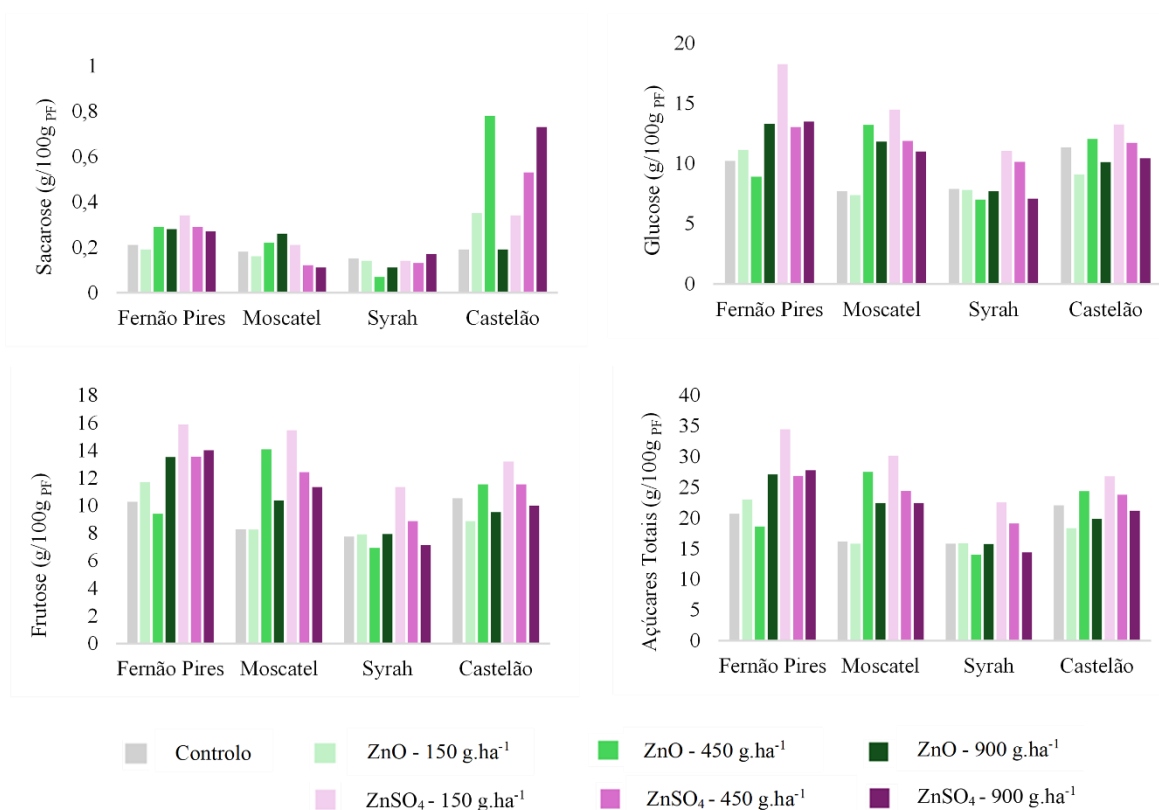


Figura 3.15 - Valores médios ($n = 3$) dos açúcares solúveis sacarose, glucose e frutose de frutos de *Vitis vinifera* L. à colheita, das castas Fernão Pires (17 de setembro), Moscatel (25 de setembro), Castelão (24 de setembro) e Syrah (6 de outubro), provenientes de Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia respetivamente. O erro padrão foi inferior a 3%. A - Sacarose; B - Glucose; C - Frutose; D - Açúcares totais solúveis.

Após a biofortificação das uvas em Zn, verificou-se, maioritariamente, a conservação do perfil dos açúcares solúveis em três das quatro castas em estudo (Castelão, Moscatel e Fernão Pires), apontando-se variações apenas na casta Moscatel (com o $\text{ZnSO}_4 - 150 \text{ g.ha}^{-1}$) e Fernão Pires (com o $\text{ZnO} - 900 \text{ g.ha}^{-1}$) (**Figura 3.15**). A casta tinta Syrah (**Figura 3.15**), evidenciou-se face às restantes, apresentando variações no perfil de açúcares solúveis após a biofortificação em Zn, nomeadamente nas proporções de frutose e glucose nas amostras com $\text{ZnO} - 150 \text{ g.ha}^{-1}$ e $\text{ZnSO}_4 - 150$ e 900 g.ha^{-1} .

Comparando as amostras obtidas com os fertilizantes de Zn e o controlo, a sacarose revelou na casta Syrah (**Figura 3.15**) teores superiores e inferiores na amostra com $\text{ZnSO}_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$ e $\text{ZnO} - 450 \text{ g.ha}^{-1}$, respetivamente, observando-se teores similares nas restantes amostras. Já nas castas Castelão e Fernão Pires (**Figura 3.15**), os níveis de sacarose após a biofortificação em Zn, evidenciaram teores superiores à amostra controlo (exceto as amostras com $\text{ZnO} - 900 \text{ g.ha}^{-1}$ na casta Castelão e o $\text{ZnO} - 150 \text{ g.ha}^{-1}$). Paralelamente, a casta Moscatel (**Figura 3.15**) apresentou teores de sacarose superiores às

amostras controle, nas amostras com ZnO - 450 e 900 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹, por oposição às amostras de ZnSO₄ nas concentrações de 450 e 900 g.ha⁻¹ que revelam níveis mais baixos.

Na generalidade, os teores de glucose e frutose apresentam apenas ligeiras variações (**Figura 3.15**), sendo semelhantes dentro da mesma casta, considerando o controle e as amostras sujeitas à biofortificação em Zn. Ao nível da glucose, entre as amostras com os fertilizantes de Zn e o controle (**Figura 3.15**), é de salientar os teores maioritariamente superiores nas castas brancas após a biofortificação em Zn, sendo que nas castas tintas não se observou uma tendência clara. Considerando a concentração de frutose nas amostras biofortificadas em Zn, relativamente às uvas controle (**Figura 3.15**), verificou-se uma tendência similar à glucose, com teores maioritariamente superiores nas uvas sujeitas aos fertilizantes de Zn nas castas brancas. À semelhança das castas brancas (**Figura 3.15**), o comportamento observado nos teores de frutose nas castas tintas também foi similar ao da glucose, não se evidenciando uma tendência clara.

Em concordância com os teores dos açúcares solúveis (**Figura 3.15**), os teores de sólidos solúveis totais nas castas brancas apresentaram uma predominância de teores superiores nas amostras com os fertilizantes de Zn, comparativamente ao controle. Nas castas tintas (**Figura 3.15**), destacaram-se os teores superiores de açúcares solúveis totais nas amostras com ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹.

3.1.5.4 Ácidos gordos

No primeiro ano de ensaio experimental, o teor de ácidos gordos totais (AGT) não foi afetado nas amostras com ZnO ou ZnSO₄ em nenhuma das castas (**Tabela 3.40**), sendo de salientar apenas na casta Moscatel e Syrah um decréscimo com o ZnSO₄ - 900 g ha⁻¹ (ainda que não sendo significativo).

O perfil dos AG de cada amostra resulta da abundância relativa dos AG que constituem os AGT. Apesar de ligeiras oscilações, o perfil dos AG nas videiras controle (**Tabela 3.40**) revelou, como mais abundantes, os ácidos linoleico (C18:2), palmítico (C16:0) e linoléico (C18:3) nas castas Syrah, Castelão e Moscatel, encontrando-se o ácido esteárico (C18:0) e o ácido oleico (C18:1) em menores proporções. Já na casta Fernão Pires, nas videiras controle, verificou-se como mais abundantes os C16:0, C18:2 e C18:0, encontrando-se os C18:3 e C18:1 em menores percentagens. De uma forma geral, com a biofortificação em Zn, o perfil de AG manteve-se inalterado nas castas tintas em estudo, apesar de ocorrerem algumas alterações nas proporções dos mesmos (**Tabela 3.40**). As castas brancas, por sua vez, após a pulverização com os fertilizantes de Zn, apresentaram uma variação nos AG mais abundantes, nomeadamente valores de C16:0 inferiores ao C18:0 na casta Moscatel e valores de C18:3 superiores ao C18:0 na casta Fernão Pires.

Apesar destas variações, os valores de DBI mantiveram-se estáveis não apresentando as amostras com os fertilizantes de Zn diferenças significativas face ao controlo (**Tabela 3.40**). Entre os dois tipos de fertilizantes de Zn (**Tabela 3.40**), também foram observadas diferenças nos valores do DBI na casta Castelão (**Tabela 3.40**), apresentando as amostras com ZnSO₄ um DBI superior face às amostras com ZnO.

Tabela 3.40 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3) do teor de ácidos gordos totais (AGT), perfil de ácidos gordos e grau de insaturação (DBI, *double bond index*) dos lípidos de bagos de uva nas quatro castas em estudo no primeiro ano de ensaio experimental. Ácidos gordos de cadeia inferior a C16 (< C16); Ácido palmítico (C16:0); Ácido esteárico (C18:0); Ácido oleico (C18:1); Ácido linoleico (C18:2); Ácido linolénico (C18:3). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre as amostras de cada casta (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| | Amostras (g. ha ⁻¹) | AGT (g. 100g ⁻¹ PF) | mol % | | | | | DBI | | |
|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | | <C16:0 | C16:0 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | | C18:3 | |
| Syrah | Controlo | 0 | 1,02 \pm 0,20ab | 0,28 \pm 0,03a | 15,36 \pm 3,43a | 14,42 \pm 3,55a | 8,17 \pm 0,41ab | 37,41 \pm 1,35a | 24,36 \pm 0,83a | 5,20 \pm 0,19a |
| | | 150 | 1,15 \pm 0,09ab | 0,74 \pm 0,02a | 19,93 \pm 1,38a | 6,52 \pm 0,80a | 7,94 \pm 0,27ab | 36,40 \pm 0,63a | 28,48 \pm 1,78a | 6,24 \pm 0,77a |
| | ZnO | 450 | 1,67 \pm 0,24a | 0,72 \pm 0,09a | 24,76 \pm 1,46a | 5,71 \pm 0,28a | 7,55 \pm 0,26b | 35,17 \pm 1,24a | 26,10 \pm 2,00a | 5,05 \pm 0,41a |
| | | 900 | 1,41 \pm 0,29ab | 0,30 \pm 0,10a | 16,96 \pm 2,38a | 6,10 \pm 0,78a | 10,30 \pm 0,36a | 37,40 \pm 0,69a | 28,95 \pm 2,09a | 7,54 \pm 1,03a |
| | ZnSO ₄ | 150 | 1,25 \pm 0,08ab | 0,79 \pm 0,36a | 22,05 \pm 1,87a | 7,68 \pm 0,87a | 8,62 \pm 0,63ab | 35,70 \pm 1,81a | 25,16 \pm 2,41a | 5,23 \pm 0,79a |
| | | 450 | 1,28 \pm 0,10ab | 0,57 \pm 0,16a | 19,11 \pm 1,09a | 6,21 \pm 0,32a | 7,85 \pm 0,66ab | 37,40 \pm 0,54a | 28,87 \pm 1,29a | 6,57 \pm 0,38a |
| | | 900 | 0,77 \pm 0,15b | 0,17 \pm 0,03a | 17,95 \pm 1,52a | 12,12 \pm 3,35a | 7,69 \pm 1,00ab | 38,55 \pm 3,84a | 23,52 \pm 1,24a | 5,51 \pm 1,16a |
| Castelão | Controlo | 0 | 0,68 \pm 0,01a | 0,46 \pm 0,26a | 23,39 \pm 1,58abc | 10,13 \pm 0,94a | 5,34 \pm 0,41a | 40,17 \pm 1,61a | 20,51 \pm 0,86ab | 4,36 \pm 0,30ab |
| | | 150 | 0,60 \pm 0,16a | 1,57 \pm 0,47a | 28,94 \pm 2,55abc | 9,13 \pm 1,83a | 3,17 \pm 0,45b | 37,92 \pm 2,72a | 19,26 \pm 2,85ab | 3,62 \pm 0,68ab |
| | ZnO | 450 | 0,95 \pm 0,16a | 1,54 \pm 0,12a | 32,53 \pm 2,49a | 9,36 \pm 3,31a | 3,67 \pm 0,18ab | 36,16 \pm 3,87a | 16,74 \pm 1,83b | 3,07 \pm 0,62b |
| | | 900 | 0,74 \pm 0,11a | 1,38 \pm 0,32a | 31,41 \pm 1,86ab | 8,78 \pm 1,50a | 3,87 \pm 0,03ab | 35,88 \pm 2,35a | 18,68 \pm 1,39ab | 3,25 \pm 0,48b |
| | ZnSO ₄ | 150 | 0,79 \pm 0,12a | 0,54 \pm 0,06a | 19,46 \pm 0,24c | 8,35 \pm 0,44a | 4,13 \pm 0,27ab | 40,57 \pm 1,97a | 26,95 \pm 1,82a | 5,86 \pm 0,05a |
| | | 450 | 0,84 \pm 0,17a | 0,74 \pm 0,09a | 22,63 \pm 0,77bc | 8,99 \pm 0,43a | 4,67 \pm 0,78ab | 39,44 \pm 0,74a | 23,54 \pm 0,38ab | 4,77 \pm 0,14ab |
| | | 900 | 0,69 \pm 0,11a | 0,81 \pm 0,31a | 23,25 \pm 3,00abc | 8,74 \pm 0,53a | 3,35 \pm 0,14ab | 38,79 \pm 1,71a | 25,07 \pm 2,62ab | 4,96 \pm 0,86ab |
| Moscatel | Controlo | 0 | 0,69 \pm 0,12ab | 1,23 \pm 0,34a | 23,27 \pm 3,65a | 12,61 \pm 2,35a | 3,33 \pm 0,57a | 33,20 \pm 5,32a | 26,35 \pm 0,47a | 4,33 \pm 0,93a |
| | | 150 | 1,09 \pm 0,13a | 0,87 \pm 0,20a | 22,19 \pm 1,80a | 8,17 \pm 1,57a | 4,32 \pm 1,13a | 35,21 \pm 3,12a | 29,23 \pm 0,86a | 5,22 \pm 0,30a |
| | ZnO | 450 | 1,01 \pm 0,03a | 1,70 \pm 0,27a | 28,78 \pm 4,42a | 11,51 \pm 2,17a | 3,71 \pm 0,40a | 30,22 \pm 3,72a | 24,08 \pm 2,93a | 3,55 \pm 1,02a |
| | | 900 | 0,67 \pm 0,14ab | 1,69 \pm 0,86a | 24,13 \pm 0,58a | 8,91 \pm 0,81a | 4,75 \pm 0,98a | 35,59 \pm 2,16a | 24,94 \pm 2,27a | 4,38 \pm 0,35a |
| | ZnSO ₄ | 150 | 0,89 \pm 0,06ab | 1,20 \pm 0,30a | 23,35 \pm 2,31a | 10,09 \pm 1,52a | 2,96 \pm 0,26a | 34,53 \pm 0,39a | 27,87 \pm 4,39a | 4,70 \pm 0,95a |
| | | 450 | 0,65 \pm 0,07ab | 1,29 \pm 0,49a | 25,82 \pm 4,21a | 11,06 \pm 2,14a | 2,94 \pm 0,46a | 30,76 \pm 3,80a | 28,13 \pm 0,40a | 4,04 \pm 0,66a |
| | | 900 | 0,43 \pm 0,13b | 1,45 \pm 0,03a | 26,11 \pm 2,20a | 11,31 \pm 1,13a | 4,06 \pm 0,25a | 31,85 \pm 0,30a | 25,22 \pm 3,24a | 3,80 \pm 0,63a |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 0,91 \pm 0,03a | 1,43 \pm 0,09a | 33,01 \pm 0,58a | 15,30 \pm 0,51ab | 4,67 \pm 0,15a | 31,30 \pm 0,01a | 14,29 \pm 0,00a | 2,21 \pm 0,01a |
| | | 150 | 1,05 \pm 0,11a | 0,60 \pm 0,32a | 27,91 \pm 1,88a | 12,73 \pm 1,79ab | 3,85 \pm 0,39a | 37,93 \pm 1,84a | 16,99 \pm 0,68a | 3,21 \pm 0,34a |
| | ZnO | 450 | 1,35 \pm 0,21a | 0,96 \pm 0,42a | 23,86 \pm 1,63a | 7,98 \pm 1,35b | 3,86 \pm 0,67a | 39,44 \pm 1,17a | 23,90 \pm 1,43a | 4,73 \pm 0,27a |
| | | 900 | 1,12 \pm 0,18a | 0,54 \pm 0,10a | 27,64 \pm 1,12a | 9,05 \pm 1,44ab | 4,52 \pm 0,35a | 38,78 \pm 0,70a | 19,48 \pm 1,92a | 3,83 \pm 0,43a |
| | ZnSO ₄ | 150 | 0,81 \pm 0,04a | 0,74 \pm 0,26a | 30,28 \pm 2,46a | 14,48 \pm 2,40ab | 4,28 \pm 0,19a | 34,52 \pm 1,85a | 15,70 \pm 2,66a | 2,76 \pm 0,57a |
| | | 450 | 1,06 \pm 0,07a | 1,15 \pm 0,37a | 28,73 \pm 4,06a | 8,57 \pm 1,97ab | 4,32 \pm 0,62a | 38,77 \pm 2,17a | 18,45 \pm 3,85a | 4,00 \pm 1,30a |
| | | 900 | 0,81 \pm 0,04a | 0,54 \pm 0,03a | 29,13 \pm 1,81a | 16,58 \pm 2,09a | 3,72 \pm 0,81a | 32,83 \pm 2,56a | 17,20 \pm 0,96a | 2,69 \pm 0,42a |

3.1.5.5 Textura e Análise Sensorial da uva

No primeiro ano de ensaio, adotou-se como sistema de testagem para aferir as principais características de textura (dureza, firmeza da polpa e trabalho de penetração) dos respectivos frutos (**Tabela 3.41**), uma casta branca e uma tinta, *i.e.*, Fernão Pires e Syrah, respetivamente. A nível complementar foram apenas testadas as concentrações mais elevadas para cada um dos tipos de tratamentos (ZnO e ZnSO₄) e as implicações nas castas.

Foi possível verificar que não foram encontradas diferenças significativas em ambas as castas e fertilizantes de Zn. No entanto, é de salientar valores inferiores na dureza e trabalho de penetração (**Tabela 3.41**) na amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ em ambas as castas. Relativamente ao parâmetro de trabalho de penetração, o controlo revelou um valor ligeiramente superior em ambas as castas. Já na firmeza da polpa (**Tabela 3.41**) subsistiram valores mais heterogéneos, verificando-se uma maior firmeza na casta Syrah controlo, face às restantes amostras. Porém, na casta Fernão Pires destacou-se a amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ apresentando um valor superior face às restantes da mesma casta.

Tabela 3.41 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) das características físicas das uvas pertencentes a frutos à colheita de *Vitis vinifera* das castas Fernão Pires (campo Lau Velho) e Syrah (campo Biscaia), na concentração mais elevada para cada um dos tipos de tratamento (ZnO e ZnSO₄) no primeiro ano de ensaio experimental. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | | Dureza (N) | Trabalho de Penetração (N.s) | Firmeza da Polpa (N) |
|--------------------------------|-------------------|-----|--------------|------------------------------|----------------------|
| Syrah | Controlo | 0 | 3,84 ± 0,33a | 11,24 ± 2,08a | 0,23 ± 0,05a |
| | ZnO | 900 | 4,03 ± 0,78a | 11,14 ± 2,55a | 0,22 ± 0,04a |
| | ZnSO ₄ | | 3,55 ± 0,67a | 10,58 ± 1,85a | 0,22 ± 0,04a |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 3,47 ± 0,32a | 15,57 ± 4,47a | 0,13 ± 0,03a |
| | ZnO | 900 | 3,27 ± 0,62a | 11,46 ± 2,15a | 0,13 ± 0,05a |
| | ZnSO ₄ | | 2,93 ± 0,47a | 8,94 ± 2,19a | 0,17 ± 0,05a |

Considerando a análise das características sensoriais, foi adotada uma escala hedónica de 5 pontos variando gradativamente desde “Desgostei muito” a “Gostei muito”.

A casta Syrah (**Figura 3.16**), equacionando as características sensoriais apresentou valores no parâmetro aparência e textura que indicaram que o ZnO e o ZnSO₄ poderão ter influenciado o painel de provadores no sentido positivo (**Figura 3.16**). No entanto, no caso dos descritores globais cor, aroma / sabor e apreciação global os valores mais altos revelaram-se na amostra controlo.

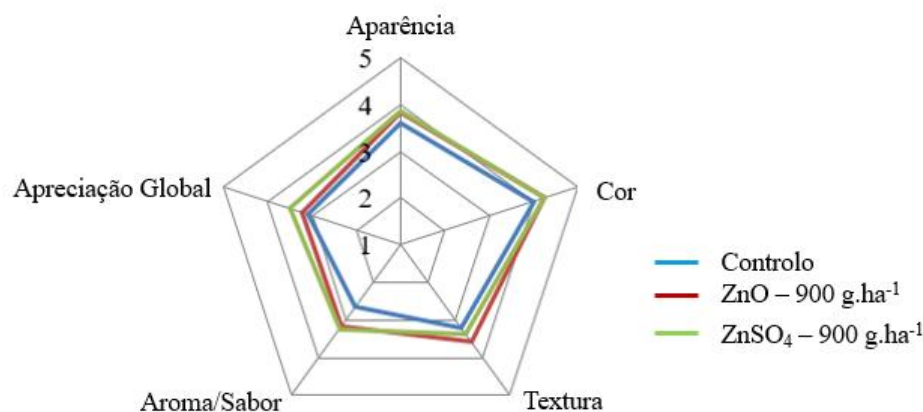


Figura 3.16 - Valores médios dos parâmetros (aparência, cor, textura, aroma e apreciação global), referentes à prova sensorial dos frutos controlo e sujeitos a biofortificação com Zn da casta Syrah (campo da Biscaia), na concentração mais elevada (900 g.ha⁻¹), para cada um dos tipos de tratamento (ZnO e ZnSO₄), no primeiro ano de ensaio experimental.

Na casta Fernão Pires, todos os descritores avaliados tiveram pontuação mais elevada (**Figura 3.17**) em amostras sujeitas à biofortificação em Zn, comparativamente às amostras controlo. Em termos de aparência e apreciação global, as amostras com ZnO - 900 g.ha⁻¹ apresentaram uma maior pontuação face às pulverizadas com ZnSO₄ e à amostra controlo (com valores próximos de 4 - gostei). Os descritores cor e aroma / sabor foram iguais para ambas as amostras sujeitas a biofortificação em Zn, mas no caso da textura a amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ foi classificada com pontuação superior.

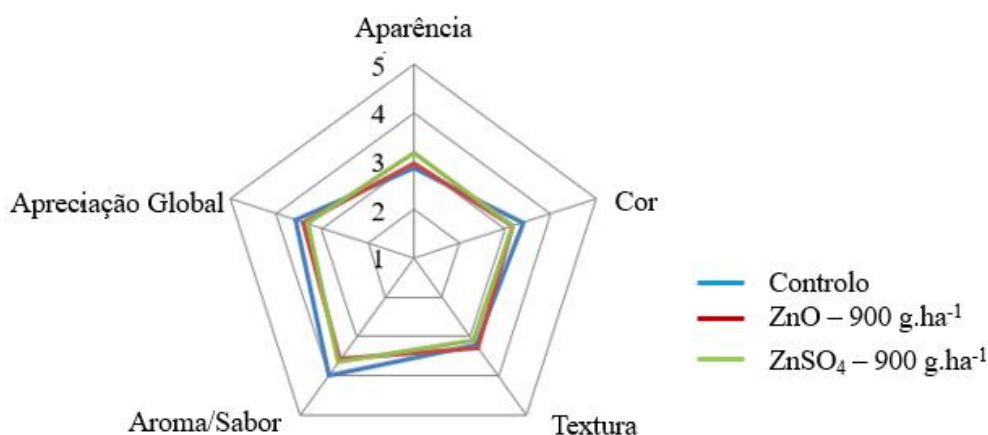


Figura 3.17 - Valores médios dos parâmetros (aparência, cor, textura, aroma e apreciação global), referentes à prova sensorial dos frutos controlo e sujeitos a biofortificação com Zn da casta Fernão Pires (campo do Lau Velho), na concentração mais elevada (900 g.ha⁻¹), para cada um dos tipos de tratamento (ZnO e ZnSO₄), no primeiro ano de ensaio experimental.

3.1.6 Microvinificação

3.1.6.1 Quantificação de Zn no Vinho

Após microvinificação das uvas submetidas ao itinerário de biofortificação em Zn (das quatro castas), envolvendo a produção de quatro vinhos monocasta, aferiu-se o aumento no teor de Zn nos mesmos, assim como as respetivas características sensoriais (aspeto visual, aspeto olfativo e sabor). Neste primeiro ano de ensaio, optou-se por realizar este processo nas duas concentrações mais elevadas para cada tipo de tratamento ZnO e ZnSO₄ (450 e 900 g.ha⁻¹).

Os teores de Zn, após a microvinificação, revelaram (**Tabela 3.42**) valores superiores relativamente ao controlo, em todas as amostras de cada casta, contudo os mesmos apenas foram significativamente mais elevados nas castas Moscatel e Fernão Pires. Deste modo, os vinhos monocasta obtiveram um incremento dos teores face ao vinho controlo entre 1,4–1,7 vezes (Syrah), 1,1 – 1,3 vezes (Castelão), 2,0 – 3,6 vezes (Moscatel) e 1,5 – 1,6 vezes (Fernão Pires).

Tabela 3.42 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) dos teores de Zn, no vinho monocasta produzido a partir de uvas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Syrah | Castelão (mg.L ⁻¹) | Moscatel | Fernão Pires |
|-----------------------------------|-----|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
| Controlo | 0 | 0,774±0,093a | 0,680±0,273a | 0,538±0,258c | 0,984±0,014b |
| ZnO | 450 | 1,322±0,162a | 0,772±0,095a | 1,199±0,079b | 1,454±0,049a |
| | 900 | 1,070±0,143a | 0,911±0,082a | 1,052±0,015bc | 1,530±0,029a |
| ZnSO ₄ | 450 | 1,268±0,049a | 0,893±0,023a | 1,173±0,059b | 1,557±0,024a |
| | 900 | 1,243±0,110a | 0,815±0,137a | 1,918±0,096a | 1,436±0,112a |

3.1.6.2 Análise Sensorial do Vinho

Ao realizar-se a prova hedónica dos vinhos monocasta, o vinho da casta Syrah (**Figura 3.18**) apresentou vinhos maioritariamente límpidos, não subsistindo concordância do painel quanto à cor. No nariz, é de realçar a sensação mineral, madeira e frutado. Já na boca, fica o sabor amargo, ácido e alcoólico com alguma persistência.

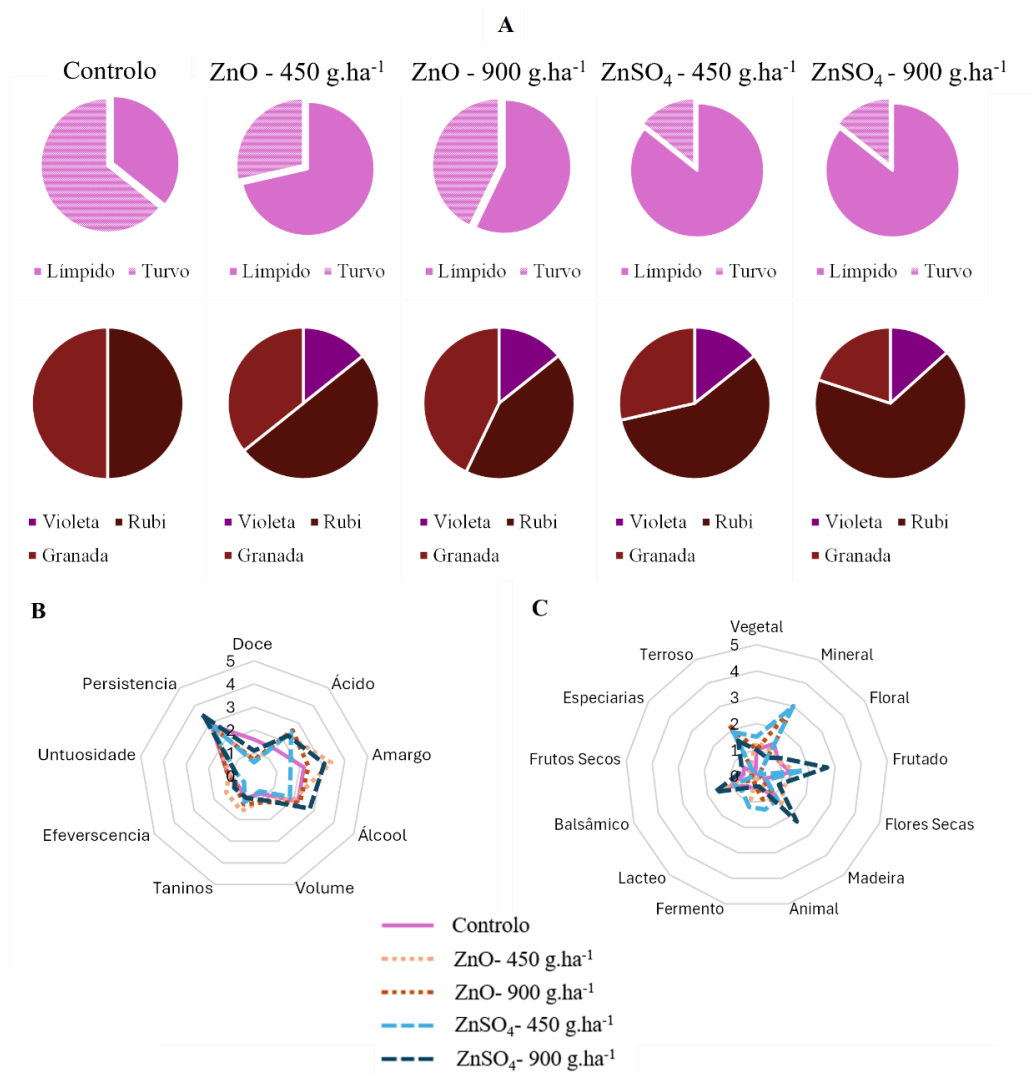


Figura 3.18 - Resultados da análise sensorial da casta Syrah. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato.

Na casta Castelão (**Figura 3.19**), em geral, os vinhos foram considerados límpidos e de cor granada, com intenso cheiro balsâmico e madeira com algumas notas de fruta. Na boca revelaram-se no final maioritariamente amargos, e muito persistentes.

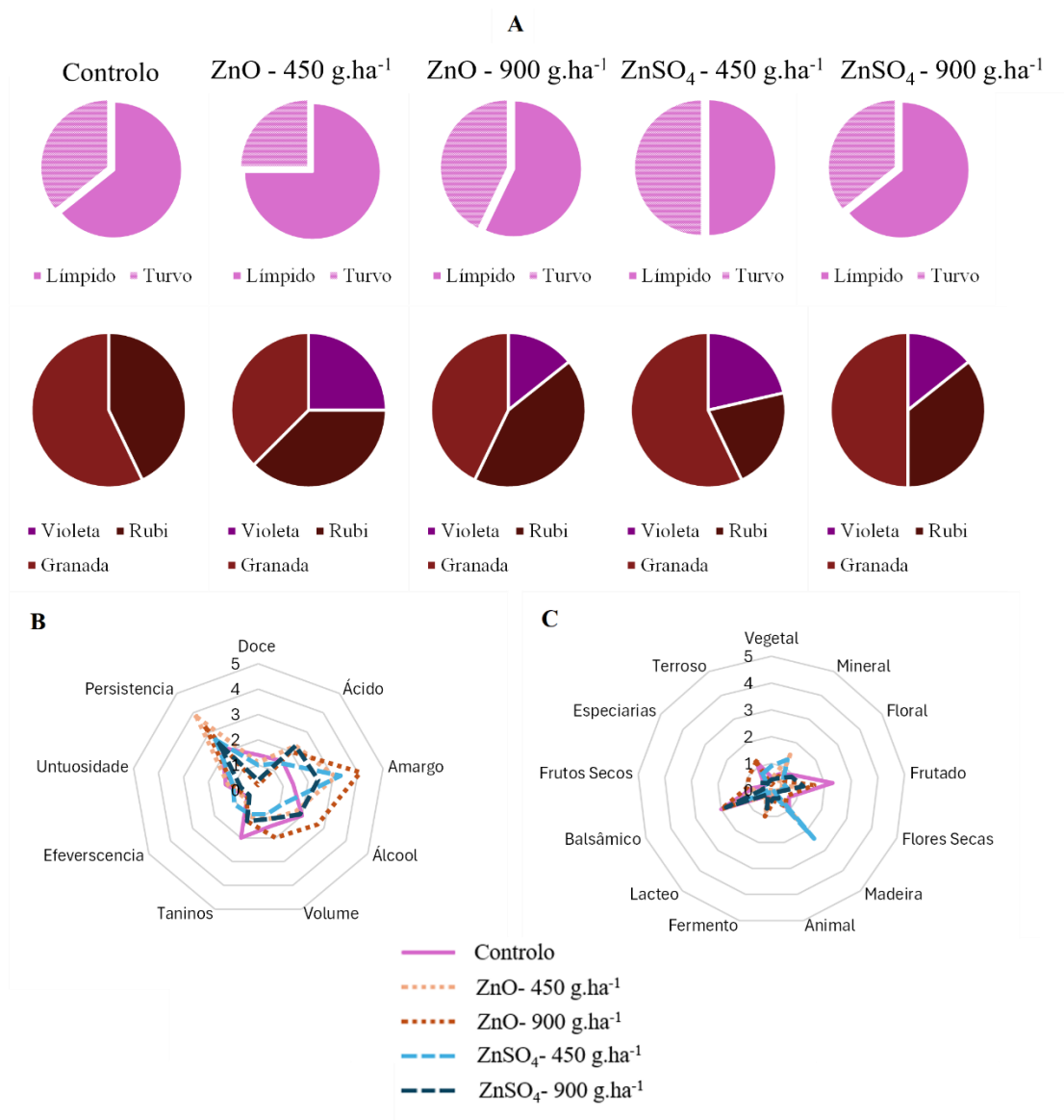


Figura 3.19 - Resultados da análise sensorial da casta Castelão. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato.

Os vinhos da casta Moscatel (**Figura 3.20**) foram considerados maioritariamente límpidos e de cor amarelo esverdeado ou palha. Ao nível do olfato denotaram-se odores maioritariamente frutados com algum aroma vegetal. Na boca sentiu-se a sua persistência, a doçura própria da casta e o álcool.

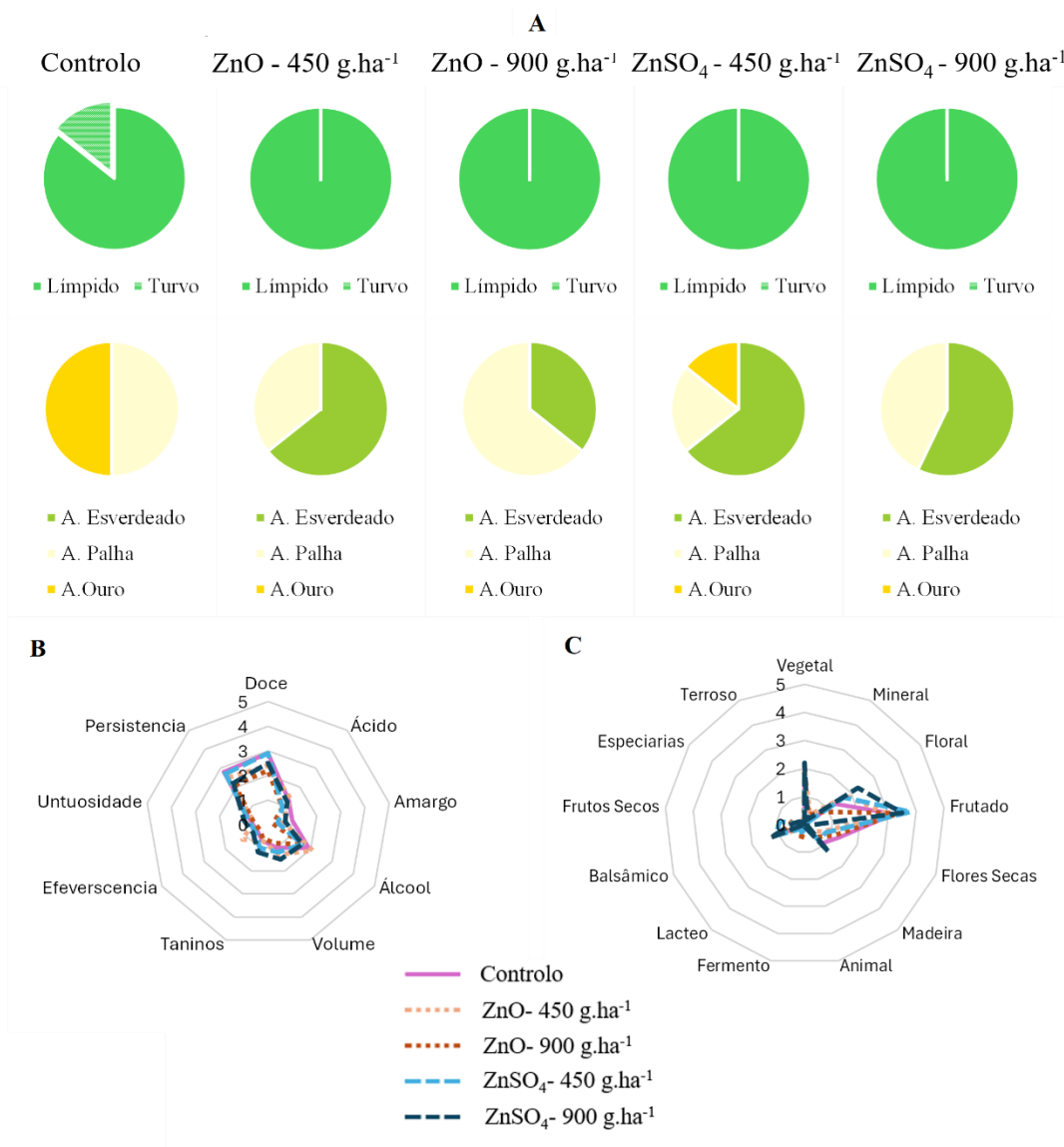


Figura 3.20 - Resultados da análise sensorial da casta Moscatel. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato.

A casta Fernão Pires (**Figura 3.21**) segundo o painel, apresentou vinhos límpidos e maioritariamente de cor amarela esverdeada, com um forte odor frutado e aromas vegetais. Foram considerados vinhos persistentes, com algum doce contrastando e com algum amargo no final da boca e sabor alcoólico.

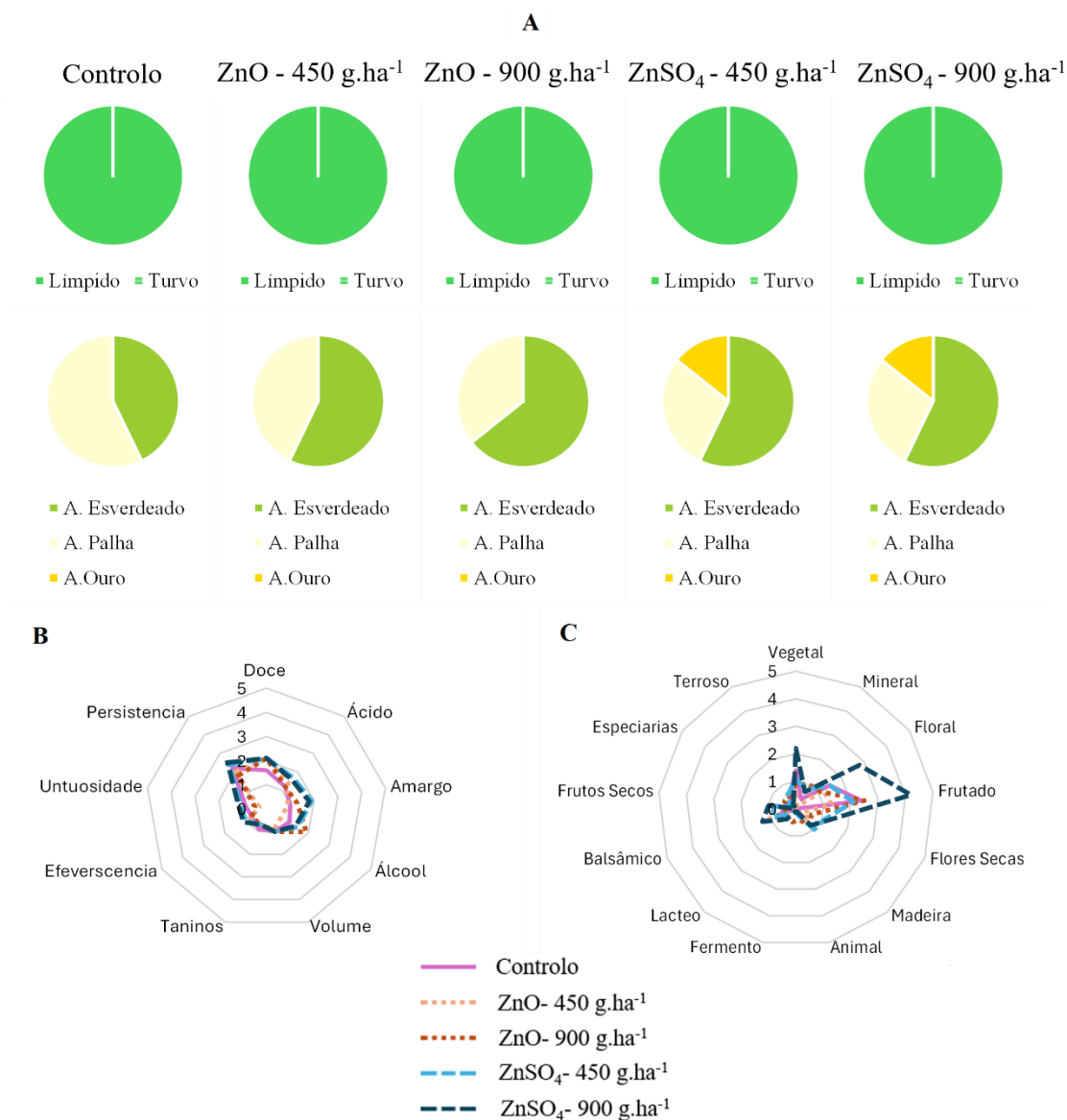


Figura 3.21 - Resultados da análise sensorial da casta Fernão Pires. (A) Turbidez e cor ; (B) Características do vinho na boca; (C) Características do vinho no olfato.

Ao nível da avaliação global dos vinhos monocasta, a casta Syrah obteve uma avaliação abaixo de 3 pontos, sendo a amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ o que apresentou uma maior nota (**Figura 3.22**). O vinho Castelão, revelou no vinho controlo a maior pontuação, no entanto abaixo de 3 pontos (**Figura 3.22**). Já a casta Moscatel, obteve as notas mais elevadas, sendo o vinho com uvas pulverizadas com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹, o mais apreciado (**Figura 3.22**). Para o vinho da casta Fernão Pires, em todos os vinhos, a pontuação foi menor que 3 pontos, sendo o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ o mais apreciado (**Figura 3.22**).

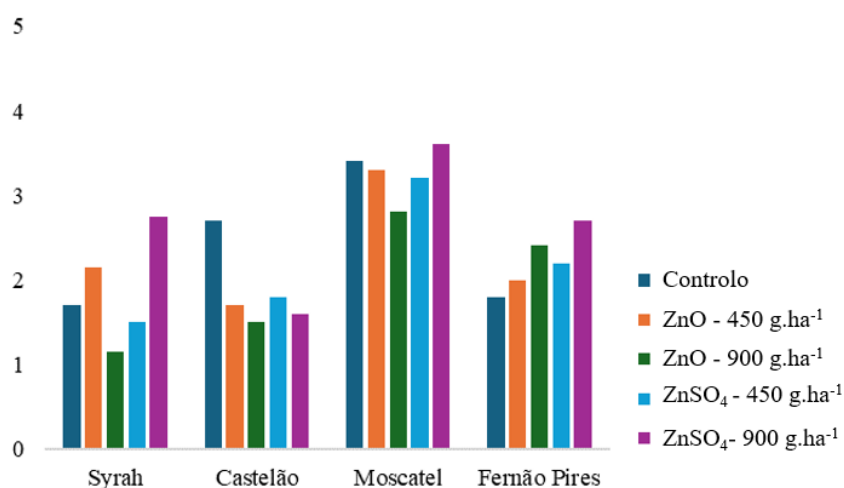


Figura 3.22 – Avaliação sensorial global dos vinhos monocastas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires.

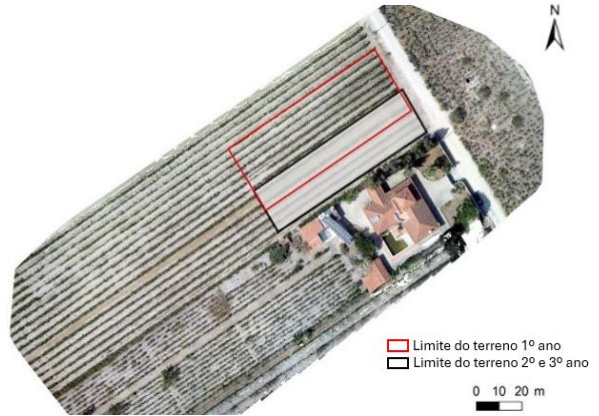
3.2 Segundo Ano de Ensaio

3.2.1 Morfologia do Terreno

Através do processamento das imagens RGB, foram adquiridos os ortofotomapas dos campos em estudo (**Figura 3.23, 3.24**). Complementarmente, foram determinados os declives do terreno e definidas as classes de declive de acordo com o potencial de infiltração de água (**Figura 3.25**). O itinerário técnico do segundo ano de ensaio foi realizado nos mesmos quatro campos / áreas experimentais de vinha, com castas específicas, do ano anterior, que ficaram referenciados pelo nome da propriedade: (1) Lau Velho, casta Fernão Pires; (2) Lagameças, casta Castelão; (3) Lau Novo, casta Moscatel; (4) Biscaia, casta Syrah. Comparativamente ao ano anterior, a localização das parcelas foi alterada, tendo estas sido deslocadas (**Figura 3.23**), até cerca de 100 m, da sua posição original no ano precedente.



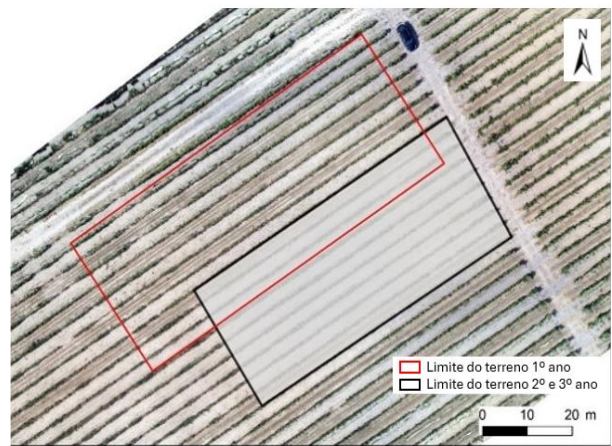
A



B



C



D

Figura 3.23 - Ortofotomapas com a localização dos quatro campos experimentais no primeiro e segundo ano de ensaio experimental. **A**- Campo da Biscaia (casta Syrah); **B**- Campo do Lagameças (casta Castelão); **C**- Campo do Lau Novo (casta Moscatel); **D**- Campo do Lau Velho (casta Fernão Pires).

Na **Figura 3.24**, é possível visualizar as respectivas fileiras do ensaio experimental do segundo ano, considerando as amostras com os fertilizantes de Zn (ZnO e ZnSO_4) com diferentes concentrações (0 , 900 e $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$).

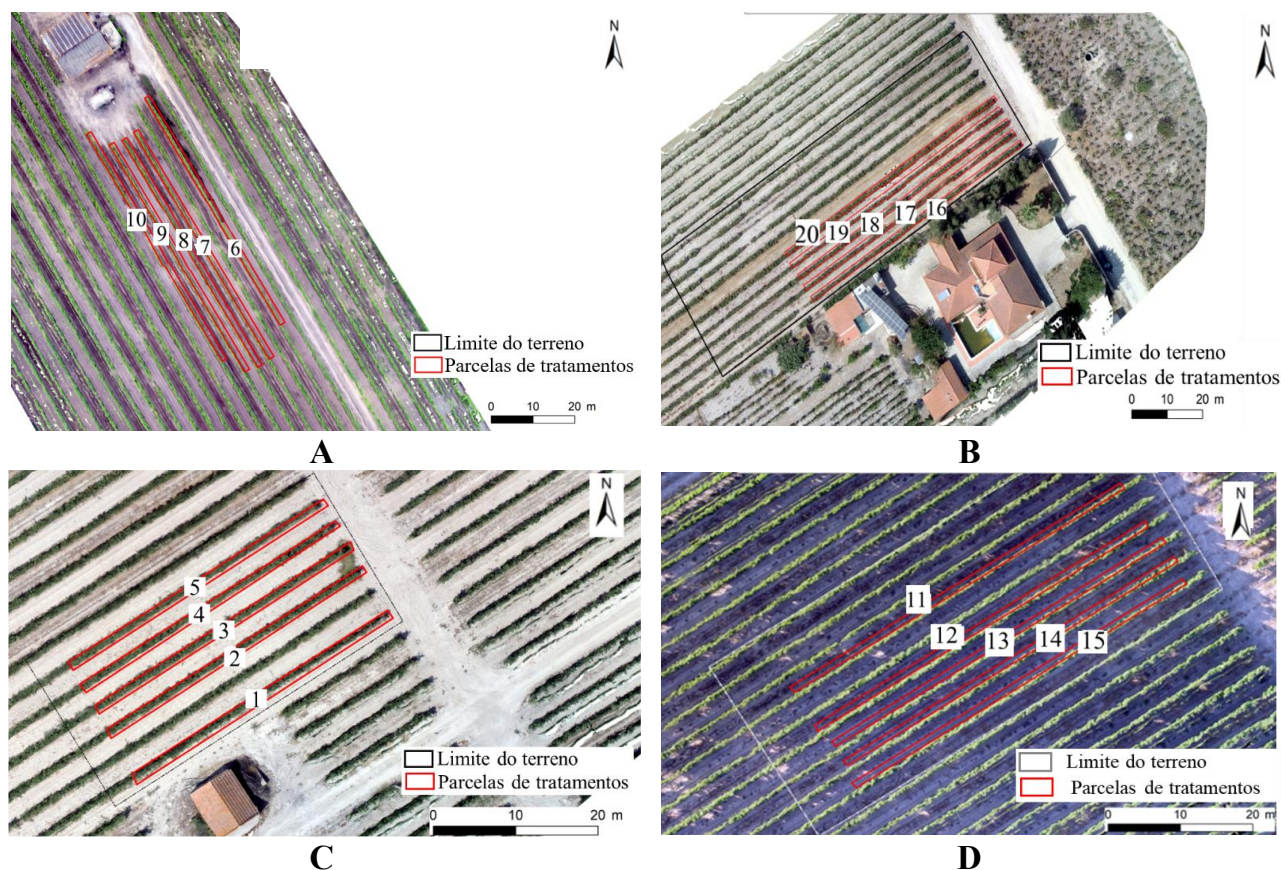


Figura 3.24 - Ortofotomapas com a localização dos quatro campos no segundo ano de ensaio e respectivas linhas em estudo. **A**- Campo da Biscaia (casta Syrah), com as linhas: 6- controlo, 7- $\text{ZnO} - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 8- $\text{ZnO} - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 9- $\text{ZnSO}_4 - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 10- $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$; **B**- Campo do Lagameças (casta Castelão), com as linhas: 20- controlo, 19- $\text{ZnO} - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 18- $\text{ZnO} - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 17- $\text{ZnSO}_4 - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 16- $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$; **C**- Campo do Lau Novo (casta Moscatel), com as linhas: 1- controlo, 2- $\text{ZnSO}_4 - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 3- $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 4- $\text{ZnO} - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 5- $\text{ZnO} - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$; **D**- Campo do Lau Velho (casta Fernão Pires), com as linhas: 11- controlo, 12- $\text{ZnO} - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 13- $\text{ZnO} - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 14- $\text{ZnSO}_4 - 900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, 15- $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$.

No segundo ano de ensaio efetuaram-se os modelos de drenagem superficial e os modelos de elevação dos quatro campos em estudo: Biscaia, Lagameças, Lau Novo e Lau Velho.

Relativamente à rede de drenagem superficial, verificou-se, em termos genéricos, em todos os campos, um padrão artificial (devido aos procedimentos efetuados ao terreno), seguindo as linhas das videiras com direção NO-SE e escoamento no sentido SE, no caso do campo Biscaia (**Figura 3.25**), e com direção NE-SO no caso dos campos do Lau Novo, Lau Velho e Lagameças (**Figura 3.25**).

Relativamente ao sentido do escoamento superficial, os campos do Lau Novo e Lagameças apresentaram escoamento para SO, o campo do Lau Velho ocorre para NE e o campo da Biscaia para SE (**Figura 3.25**).

Refira-se que a variação altimétrica do modelo de superfície (**Figura 3.25**), corresponde à diferença altimétrica entre os elementos presentes no terreno (edificado, no caso do campo da Biscaia e topo das videiras, nos restantes campos) e a cota mínima da superfície do terreno. Para a estimação da morfologia do terreno, foi retirado ao modelo digital de superfície (MDS) o conjunto das cotas referentes aos elementos antrópicos (edificado e copas das videiras). Assim, observou-se que os terrenos são praticamente horizontais (**Figura 3.25**), apresentando pendores suaves (com variação máxima nas parcelas de 0,80 m entre as extremas da parcela de Lagameças, e cerca de 1,10 m nas parcelas do Lau Novo e Lau Velho e cerca de 2 m na parcela da Biscaia). Complementarmente, observou-se que o campo Biscaia possui um pendor para os quadrantes SE; o campo Lau Velho e Lagameças para os quadrantes SO; e o campo Lau Novo para os quadrantes NE (**Figura 3.25**).

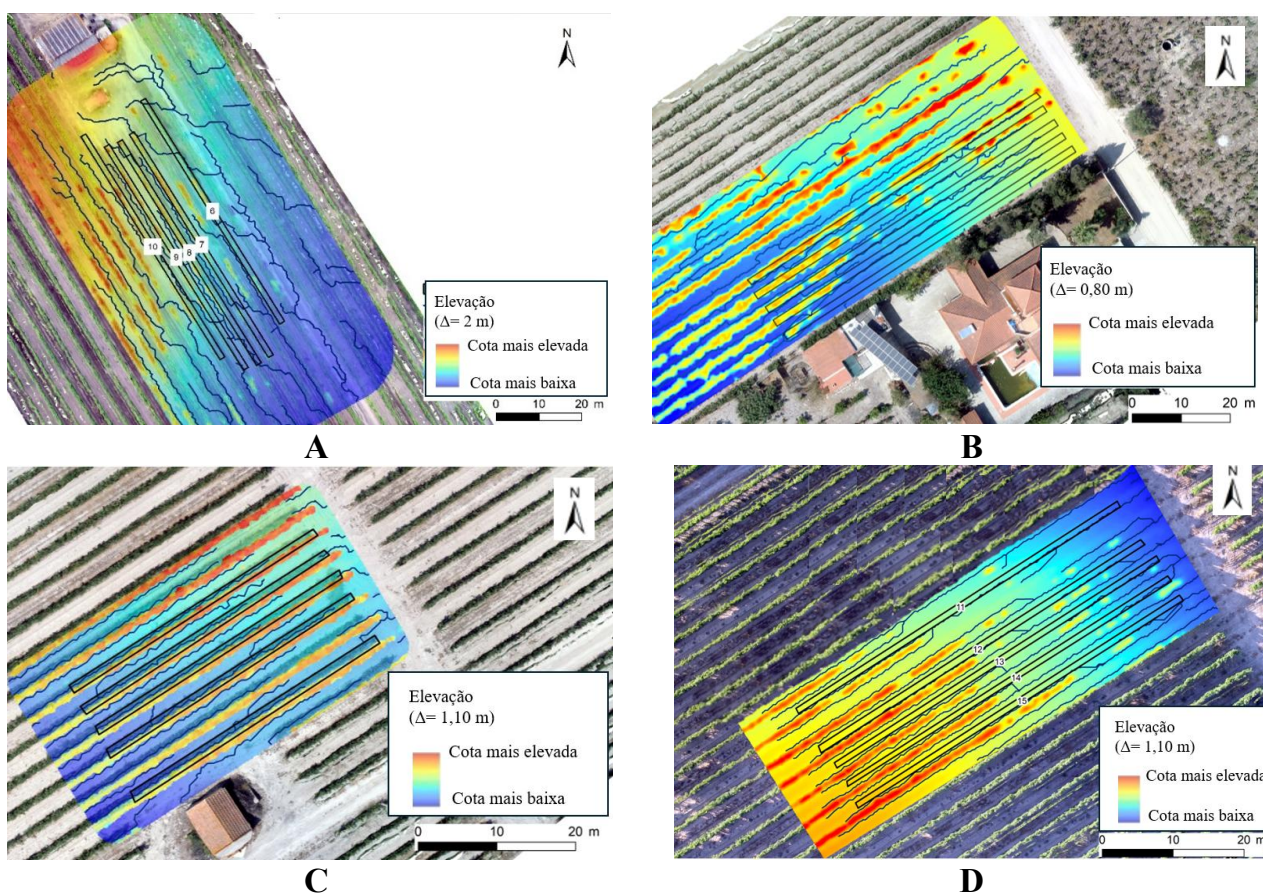


Figura 3.25 - Rede de drenagem superficial e modelo de altimetria dos quatro campos. **A-** Campo Biscaia (casta Syrah); **B-** Campo Lagameças (casta Castelão); **C-** Campo Lau Novo (casta Moscatel); **D-** Campo Lau Velho (casta Fernão Pires).

À classe de declive mais elevada correspondem os terrenos que, pela sua morfologia, potenciam o escoamento superficial das águas, não promovendo assim a ocorrência da sua infiltração. Inversamente, à classe mais baixa, corresponderão as superfícies aplanadas, como potenciais áreas de infiltração, visto promoverem a acumulação das águas de superfície. Verificou-se assim que na parcela de Lagameças (**Tabelas 3.43; Figura 3.26**) cerca de 50% da área apresentou características morfológicas propensas à acumulação de águas de superfície (ou infiltração, consoante as características de permeabilidade dos terrenos) e os restantes 50 %, aptidão para a drenagem superficial.

Tabela 3.43 - Descrição das classes de declive para as superfícies de drenagem dos quatro campos experimentais.

| Classes de Declive (%) | Drenagem Superficial | Biscaia | Lagameças | Lau Novo | Lau Velho |
|------------------------|----------------------|---------|-----------|----------|-----------|
| | | % Área | | | |
| [0-5] | Reduzida | 35% | 49,38 | 34,87 | 34,43 |
|]5-20] | Moderada | 51% | 50,59 | 63,86 | 61,74 |
| > 20 | Elevada | 14% | 0,02 | 1,27 | 3,84 |

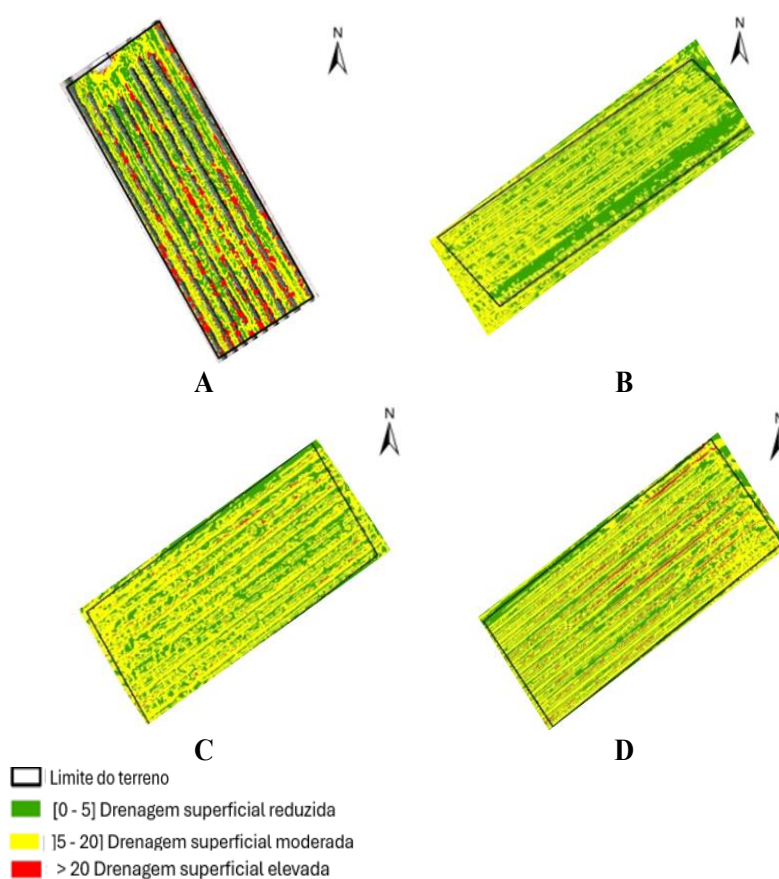


Figura 3.26 - Áreas com aptidão para a infiltração em função da drenagem de águas superficiais dos quatro campos experimentais. **A-** Campo Biscaia (casta Syrah); **B-** Campo Lagameças (casta Castelão); **C-** Campo Lau Novo (casta Moscatel); **D-** Campo Lau Velho (casta Fernão Pires).

Na parcela do Lau Novo, Lau Velho e Biscaia (**Tabela 3.43; Figura 3.26**), apenas cerca de 1/3 dos terrenos apresentam condições de aptidão à infiltração de águas superficiais, pelo que nestas parcelas deverá ser dada especial atenção à rega e disponibilidade de nutrientes no solo.

3.2.2 Água de Irrigação

No segundo ano de ensaio experimental foi realizada a análise à água de irrigação nos campos experimentais Biscaia e Lau Novo (**Tabela 3.44**). Tal como a água do campo Lau Novo, a água de irrigação do campo experimental Biscaia é de origem subterrânea. Estas foram analisadas quanto aos parâmetros físicos e químicos (**Tabela 3.44**). A classificação iónica foi realizada em termos de iões dominantes segundo a metodologia proposta por Piper (**Figura 3.27 - A**) e classificada a sua adequação para uso agrícola segundo a projecção de Wilcox (**Figura 3.27 - B**) que considera o índice SAR e a condutividade elétrica da água.

Tabela 3.44 - Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação dos campos experimentais Biscaia e Lau Novo, obtidos na recolha do segundo ano de ensaio experimental (20 de maio).

| | Biscaia | Lau Novo |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------|
| CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 20 °C) | 229 | 259 |
| pH | 6,2 | 5,6 |
| | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) | |
| Ca ²⁺ | 15,4 (0,8) | 9,3 (0,5) |
| Mg ²⁺ | 2,8 (0,2) | 3,5 (0,3) |
| Na ⁺ | 25,1 (1,1) | 23,7 (1,0) |
| K ⁺ | 4,1 (0,1) | 4,4 (0,1) |
| HCO ₃ ⁻ | 42,0 (0,6) | 23,2 (0,3) |
| Cl ⁻ | 44 (1,2) | 44 (1,2) |
| SO ₄ ²⁻ | 36 (0,8) | 47 (0,9) |
| PO ₄ ³⁻ | < 1,5 (< 0,04) | < 1,5 (< 0,04) |
| Classificação de Piper | Cloretada sulfatada sódica | Cloretada sódica |
| Índice SAR | 1,40 | 1,60 |
| pHs | 8,9 a 20 °C | 9,4 a 20 °C |
| ISL | -3,0 a 20 °C | -3,8 a 20 °C |

No campo experimental Biscaia, a água de irrigação à vinha é de fácies hidroquímica cloretada sulfatada sódica e pertence à classe C1S1 (**Figura 3.27**), apresentando salinidade baixa (condutividade elétrica entre 100 e 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a 20 °C) e baixo teor de sódio (índice SAR igual a 1,40). O ISL calculado foi de -3,1 classificando-se a água como muito corrosiva, tendo uma ação efetiva de dissolução do carbonato de cálcio, situando-se o pHs em 8,9 (**Tabela 3.44**).

A água de irrigação do campo experimental Lau Novo é de fácies hidroquímica cloretada sódica e pertence à classe C2S1 (**Figura 3.27**), apresentando salinidade intermédia (condutividade elétrica entre 250 e 750 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 20 °C) e baixo teor de sódio (índice SAR igual a 1,60). O ISL estimado foi de -

3,8 classificando-se a água como muito corrosiva, tendo uma ação efetiva de dissolução do carbonato de cálcio, situando-se o pH em 9,4 (Tabela 3.44).

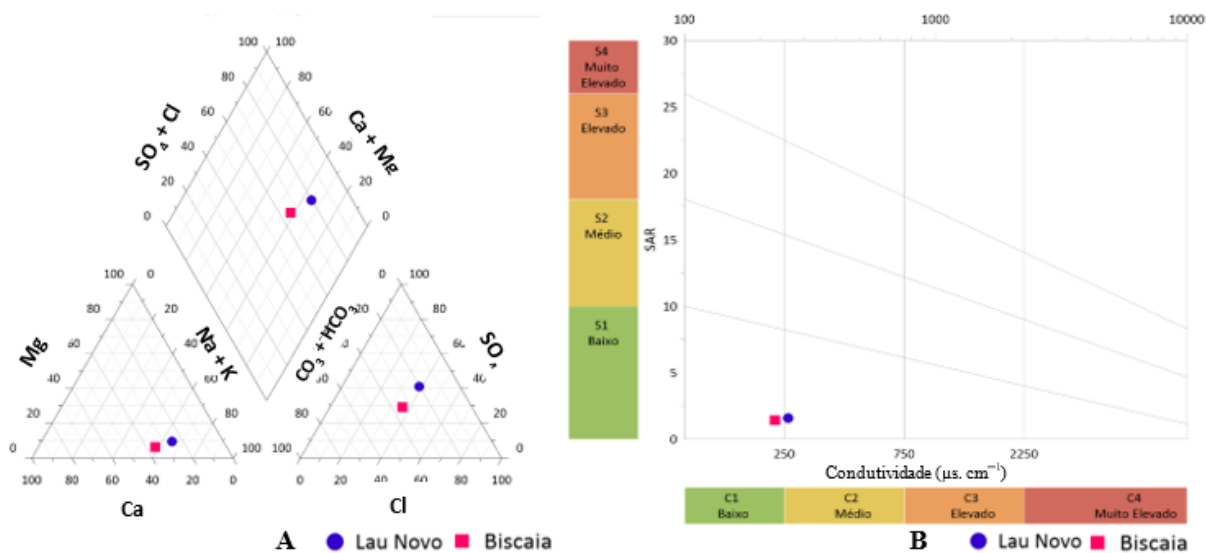


Figura 3.27 - Projeção da composição da água em termos dos iões dominantes da água de irrigação do campo Lau Novo (casta Moscatel) e Biscaia (casta Syrah) no segundo ano de ensaio experimental (20 de maio). Diagrama de Piper (A) e Diagrama de Wilcox (B) obtidos com o *Golden software*.

3.2.3 Condicionantes Meteorológicas e Fitossanidade

No segundo ano de ensaio experimental, recolheram-se dados das condições meteorológicas com dados diários reportados entre janeiro e dezembro (**Figura 3.28**). O período de ensaio experimental dos quatro campos, decorreu entre 29 de junho (data da primeira pulverização foliar) e 25 de setembro (data da última colheita), sendo caracterizado por uma temperatura média máxima e mínima de 28°C e 18°C, respetivamente (onde se registou valores mínimos e máximos de 15 °C e 36 °C) (**Figura 3.28**). A humidade máxima e mínima do ar registada no período experimental foi 99 % e 17 % (**Figura 3.28**), respetivamente (sendo que a média dos valores máximo foi 87,9 % e a média dos valores mínimos de 46,1 %). No período experimental, a precipitação total acumulada foi de 18,28 mm (com um máximo diário de 12,95 mm), a que corresponde a média diária 0,21 mm (**Figura 3.28**).

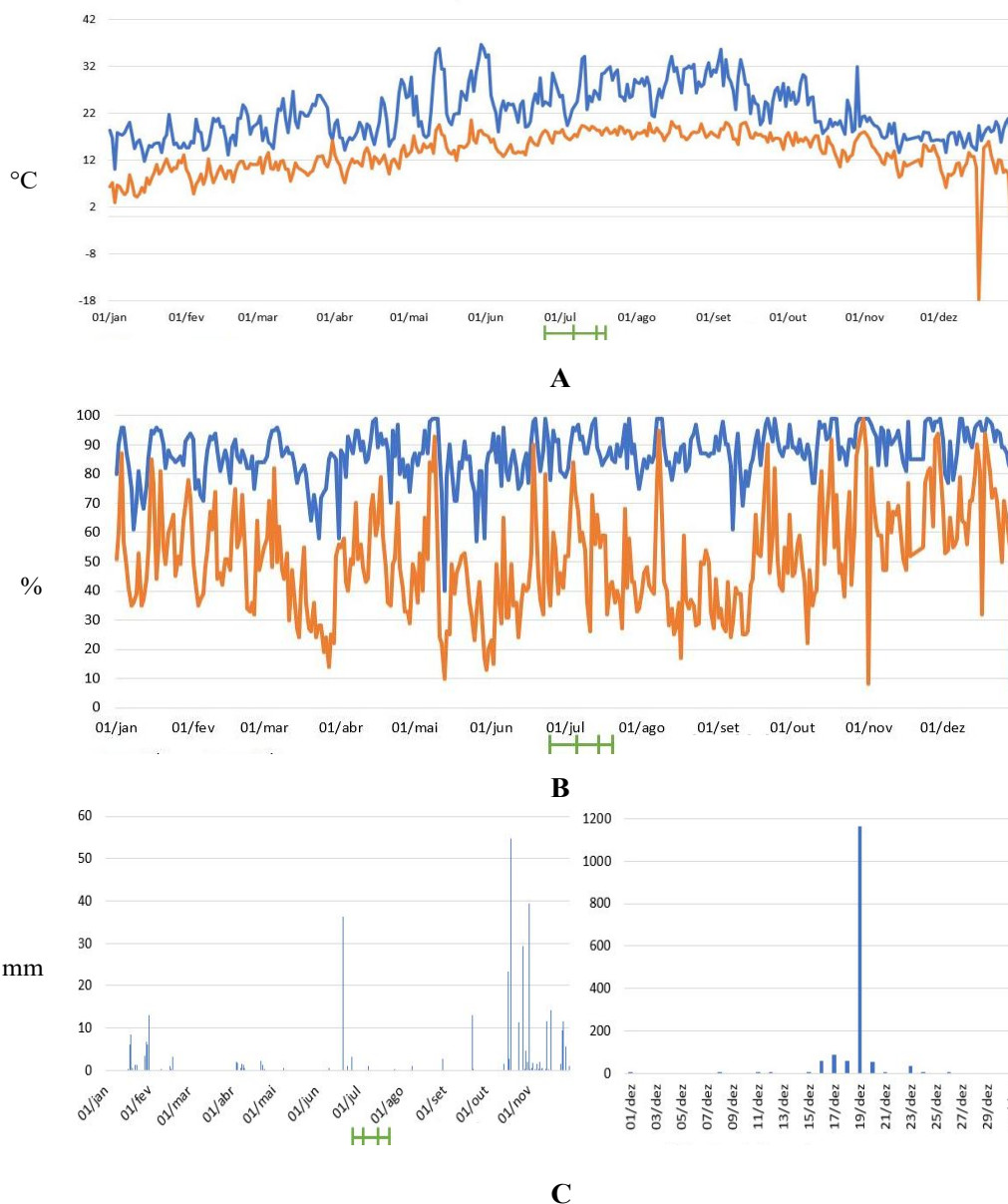


Figura 3.28 - Temperatura, humidade e precipitação acumulada na região dos campos experimentais ao longo do segundo ano de ensaio experimental. (A) Temperatura máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (B) Humidade máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (C) Precipitação acumulada diária. O período discriminado a verde corresponde aos dias de pulverização foliar dos quatro campos experimentais.

O itinerário de biofortificação das pulverizações foliares de óxido de zinco (ZnO) e sulfato de zinco (ZnSO₄) foi efetuada em 29 de junho, 6, 13 e 19 de julho, nas seguintes concentrações para cada produto: 0 %, 60 %, 90 %. (*i.e.*, 0, 900, 1350 g.ha⁻¹). Foram realizadas recolhas nas quatro castas em diferentes fases de desenvolvimento e número de aplicações foliares, nomeadamente com 0 aplicações, 1 aplicação, 2 aplicações, 3 aplicações e à colheita. Apresentam-se alguns aspetos visuais observados durante as fases mencionadas (**Figura 3.29 - 3.31**).

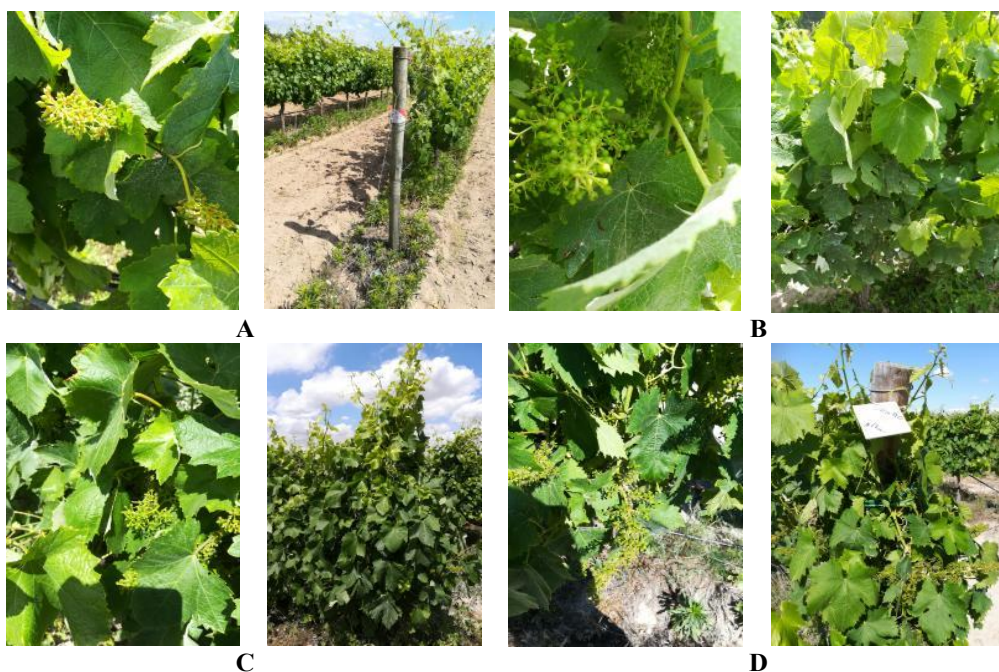


Figura 3.29 - Visualização de alguns aspetos do ciclo produtivo das vinhas dos campos experimentais da A – Biscaia (casta Syrah); B – Lagameças (casta Castelão); C – Lau Novo (casta Moscatel) e D – Lau Velho (casta Fernão Pires) a 20 de Maio do segundo ano de ensaio experimental.

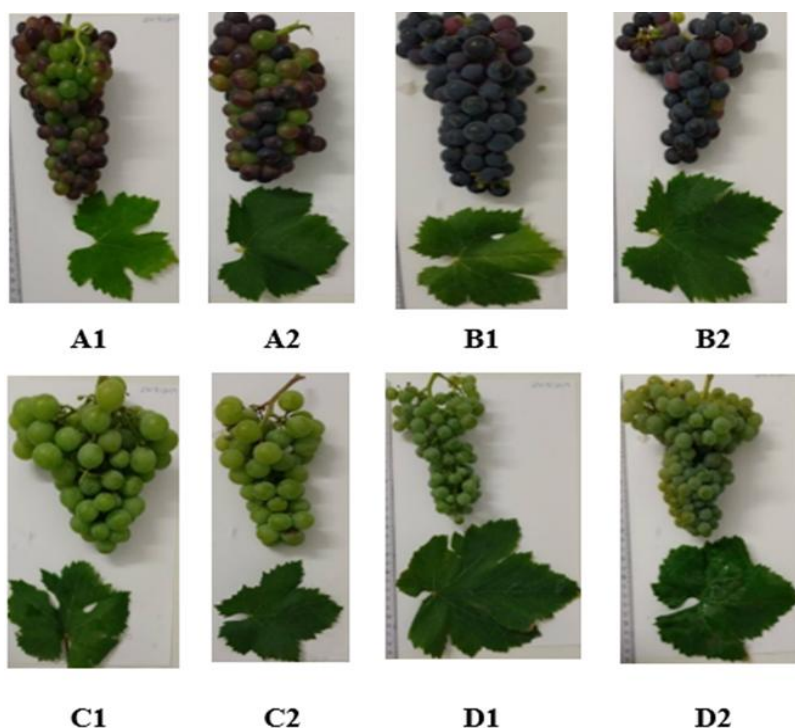


Figura 3.30 - Visualização de frutos e folhas de *Vitis vinifera* provenientes dos campos experimentais da Biscaia (casta Syrah) (A1 – Controlo; A2 – Biofortificação); Lagameças (casta Castelão) (B1 – Controlo; B2 - Biofortificação); Lau Novo (casta Moscatel) (C1 – Controlo; C2 – Biofortificação); e Lau Velho (casta Fernão Pires) (D1 – Controlo; D2 – Biofortificação) a 24 de julho do segundo ano de ensaio experimental.

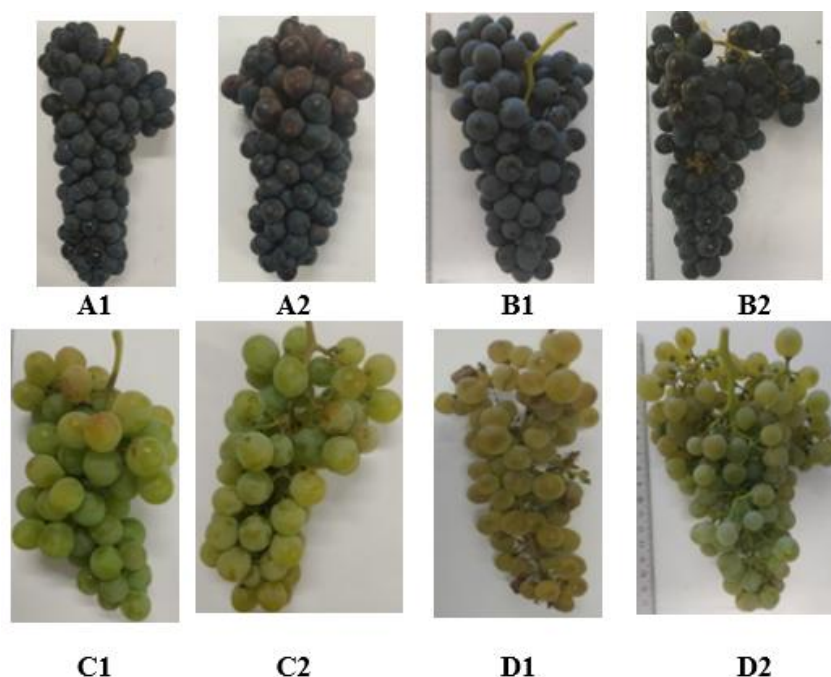


Figura 3.31 - Visualização de frutos de *Vitis vinifera* provenientes dos campos experimentais da Biscaia (casta Syrah) (A1 – Controlo; A2 – Biofortificação); Lagameças (casta Castelão) (B1 – Controlo; B2 - Biofortificação); Lau Novo (casta Moscatel) (C1 – Controlo; C2 – Biofortificação); e Lau Velho (casta Fernão Pires) (D1 – Controlo; D2 – Biofortificação) à colheita 2 e 9 de Setembro do segundo ano de ensaio experimental.

3.2.4 Parâmetros Fotossintéticos – Trocas Gasosas Foliaves e Parâmetros de Clorofila a

No segundo ano de ensaio experimental, à semelhança do primeiro ano, após as pulverizações foliares (4 pulverizações) com diferentes concentrações de ZnO ou ZnSO₄, realizaram-se análises de trocas gasosas foliares e os parâmetros de fluorescência de clorofila a , entre 29 de julho a 21 de agosto.

Na **Tabela 3.45** encontram-se os valores das trocas gasosas foliares da casta tinta Syrah, verificando-se na primeira data de avaliação entre amostras, apenas uma diminuição do parâmetro P_n em relação ao controlo na dose máxima de ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ (embora não sendo significativo). Já na segunda data (**Tabela 3.45**), observou-se um efeito positivo na P_n após a aplicação de ZnO e ZnSO₄ em todas as concentrações (sendo os valores significativamente superiores ao controlo, exceto com o ZnO - 900 g.ha⁻¹). No parâmetro g_s (**Tabela 3.45**), em ambas as datas não ocorreram diferenças relevantes, sendo de realçar a diminuição verificada em P_n que pode estar ligada a um menor valor de g_s (na primeira data com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹). Já no parâmetro E (**Tabela 3.45**), apesar de se observar em alguns casos valores superiores, só o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ revelou um valor significativamente superior ao

controle. Apesar deste ligeiro aumento do E (Tabela 3.45), observou-se uma manutenção tanto do g_s (como já mencionado), como do $iWUE$, não ocorrendo variações significativas entre os valores.

Entre as datas avaliadas (Tabela 3.45), só no parâmetro E não ocorreram variações significativas. Relativamente a P_n (Tabela 3.45), ocorreu um decréscimo da primeira para a segunda data, exceto nas amostras com ZnO. Similarmente, na g_s (Tabela 3.45), o mesmo foi observado, sendo que neste caso na amostra com $ZnSO_4 - 900 \text{ g. ha}^{-1}$ também não diferiu relativamente à primeira data avaliada. No parâmetro $iWUE$ (Tabela 3.45), a tendência foi igual nas amostras, observando-se um decréscimo da primeira para a segunda data.

Tabela 3.45 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) sujeito a irrigação após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g. ha^{-1}) | | 29 julho | 21 agosto |
|----------------------------------|------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| | | P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 16,2 \pm 0,3 abA | 9,8 \pm 0,4 bB |
| | 900 | 16,2 \pm 0,8 abA | 12,0 \pm 1,2 abB |
| ZnO | 1350 | 16,5 \pm 0,6 abA | 14,0 \pm 0,8 aA |
| | 900 | 17,5 \pm 0,4 aA | 13,8 \pm 0,5 aB |
| $ZnSO_4$ | 1350 | 13,8 \pm 0,8 bA | 13,3 \pm 0,5 aA |
| | | | g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) |
| Controlo | 0 | 291,8 \pm 61,8 aA | 251,8 \pm 50,3 aA |
| | 900 | 248,7 \pm 50,2 aA | 255,1 \pm 57,7 aA |
| ZnO | 1350 | 252,1 \pm 43,7 aA | 267,3 \pm 39,9 aA |
| | 900 | 248,7 \pm 44,2 aA | 213,8 \pm 24,3 aA |
| $ZnSO_4$ | 1350 | 187,0 \pm 27,7 aA | 263,1 \pm 17,6 aA |
| | | | E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) |
| Controlo | 0 | 3,4 \pm 0,3 aA | 2,7 \pm 0,2 bA |
| | 900 | 3,3 \pm 0,3 aA | 3,2 \pm 0,3 bA |
| ZnO | 1350 | 3,5 \pm 0,3 aA | 3,9 \pm 0,2 abA |
| | 900 | 3,5 \pm 0,3 aA | 3,6 \pm 0,2 abA |
| $ZnSO_4$ | 1350 | 3,1 \pm 0,2 aB | 4,3 \pm 0,2 aA |
| | | | $iWUE$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) |
| Controlo | 0 | 5,0 \pm 0,4 aA | 3,7 \pm 0,2 aB |
| | 900 | 5,3 \pm 0,5 aA | 3,8 \pm 0,1 aB |
| ZnO | 1350 | 4,8 \pm 0,2 aA | 3,7 \pm 0,1 aB |
| | 900 | 5,1 \pm 0,3 aA | 3,8 \pm 0,1 aB |
| $ZnSO_4$ | 1350 | 4,6 \pm 0,3 aA | 3,1 \pm 0,1 aB |

Na casta tinta Castelão (**Tabela 3.46**), no parâmetro P_n não ocorreram diferenças significativas nas primeira e segunda datas (embora notando-se um decréscimo face ao controlo na maioria dos casos, exceto nas amostras com ZnO na segunda data de avaliação). Complementarmente, o parâmetro g_s (**Tabela 3.46**) indicou uma interação com os efeitos no P_n , uma vez que na primeira data, as amostras com ZnSO₄ mostraram um decréscimo face ao controlo (embora só sendo significativo com ambos os fertilizantes na concentração de 450 g.ha⁻¹). Já o parâmetro E manteve-se semelhante e sem variações relevantes, comparativamente ao controlo (embora tenha decrescido na primeira data avaliada, mas não sendo significativo). No caso do iWUE, só ocorreram diferenças significativas na primeira data de avaliação, com aumentos nas folhas sujeitas à biofortificação em Zn (exceto com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹) face ao controlo.

Tabela 3.46 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e iWUE), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 29 julho | 21 agosto |
|--------------------------------|------|----------------------------------------------------------------|--------------------|
| | | P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 14,4 \pm 1,3 aA | 5,8 \pm 0,9 aB |
| ZnO | 900 | 10,6 \pm 1,1 aA | 6,7 \pm 1,6 aA |
| | 1350 | 11,5 \pm 1,0 aA | 7,5 \pm 0,8 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 11,2 \pm 1,0 aA | 4,6 \pm 0,9 aB |
| | 1350 | 11,2 \pm 1,0 aA | 3,9 \pm 1,0 aB |
| | | g_s (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) | |
| Controlo | 0 | 24,8 \pm 39,2 aA | 64,6 \pm 16,3 aB |
| ZnO | 900 | 107,4 \pm 16,6 bA | 87,1 \pm 32,8 aA |
| | 1350 | 134,6 \pm 20,9 abA | 84,3 \pm 16,8 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 124,6 \pm 18,4 bA | 53,1 \pm 9,2 aA |
| | 1350 | 173,1 \pm 38,9 abA | 53,5 \pm 12,7aB |
| | | E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹) | |
| Controlo | 0 | 3,1 \pm 0,4 aA | 2,0 \pm 0,4 aA |
| ZnO | 900 | 1,9 \pm 0,2 aA | 2,6 \pm 0,7 aA |
| | 1350 | 2,2 \pm 0,3 aA | 2,8 \pm 0,4 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 2,1 \pm 0,2 aA | 2,0 \pm 0,2 aA |
| | 1350 | 2,7 \pm 0,4 aA | 2,0 \pm 0,4 aA |
| | | iWUE (mmol CO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O) | |
| Controlo | 0 | 4,9 \pm 0,3 bA | 3,1 \pm 0,2 aB |
| ZnO | 900 | 5,7 \pm 0,1 aA | 2,7 \pm 0,2 aB |
| | 1350 | 5,4 \pm 0,2 abA | 2,8 \pm 0,1 aB |
| ZnSO ₄ | 900 | 5,4 \pm 0,2 abA | 2,3 \pm 0,2 aB |
| | 1350 | 4,4 \pm 0,3 bA | 1,7 \pm 0,2 aB |

Entre as datas avaliadas, tal como na casta Syrah (Tabela 3.46), só no parâmetro E não ocorreram variações significativas. Considerando o parâmetro P_n (Tabela 3.46), ocorreu um decréscimo da primeira para a segunda data, exceto nas amostras com ZnO. No parâmetro g_s (Tabela 3.46), da primeira para a segunda data, houve um decréscimo significativo, exceto nas amostras com ZnO e $ZnSO_4$ - 900 $g \cdot ha^{-1}$. Já no parâmetro $iWUE$ (Tabela 3.46), a tendência foi igual entre as amostras analisadas, com um decréscimo da primeira para a segunda data.

Na casta Moscatel (Tabela 3.47), o parâmetro P_n apresentou na primeira data avaliada, um incremento nos valores das amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn relativamente ao controlo (embora só sendo significativo com o $ZnSO_4$).

Tabela 3.47 -Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A , B).

| Amostras ($g \cdot ha^{-1}$) | | 29 julho | 21 agosto |
|--------------------------------|------|----------------------------------------|---------------------|
| | | P_n ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 12,9 \pm 0,7 cA | 12,2 \pm 0,4 aA |
| ZnO | 900 | 14,8 \pm 0,5 bcA | 12,0 \pm 0,6 aA |
| | 1350 | 14,6 \pm 1,1 bcA | 12,2 \pm 0,6 aA |
| $ZnSO_4$ | 900 | 15,5 \pm 0,5 abA | 12,8 \pm 0,8 aA |
| | 1350 | 17,5 \pm 0,4 aA | 12,3 \pm 0,0 aB |
| | | g_s ($mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 138,8 \pm 9,0 bA | 126,5 \pm 2,0 aA |
| ZnO | 900 | 179,5 \pm 12,0 abA | 130,0 \pm 3,5 aA |
| | 1350 | 174,3 \pm 29,0 abA | 141,5 \pm 0,3 aA |
| $ZnSO_4$ | 900 | 212,1 \pm 33,3 abA | 138,5 \pm 14,1 aA |
| | 1350 | 275,9 \pm 47,4 aA | 132,0 \pm 5,8 aA |
| | | E ($mmol H_2O m^{-2} s^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 2,8 \pm 0,2 cA | 3,3 \pm 0,0 aA |
| ZnO | 900 | 3,6 \pm 0,1 abA | 3,6 \pm 0,1 aA |
| | 1350 | 3,5 \pm 0,3 bcA | 3,9 \pm 0,0 aA |
| $ZnSO_4$ | 900 | 3,6 \pm 0,2 abA | 3,5 \pm 0,3 aA |
| | 1350 | 4,4 \pm 0,3 aA | 3,5 \pm 0,1 aA |
| | | $iWUE$ ($mmol CO_2 mol^{-1} H_2O$) | |
| Controlo | 0 | 4,7 \pm 0,2 aA | 3,7 \pm 0,1 aB |
| ZnO | 900 | 4,2 \pm 0,1 abA | 3,4 \pm 0,1 aB |
| | 1350 | 4,3 \pm 0,1 abA | 3,2 \pm 0,2 aB |
| $ZnSO_4$ | 900 | 4,4 \pm 0,2 abA | 3,6 \pm 0,0 aB |
| | 1350 | 4,1 \pm 0,2 bA | 3,5 \pm 0,1 aB |

Na segunda data avaliada (**Tabela 3.47**), o parâmetro P_n não demonstrou nenhuma variação relevante. Complementarmente, o g_s (**Tabela 3.47**) apenas apresentou variações na primeira data de avaliação, com valores superiores com o ZnO e ZnSO₄ e sendo significativo com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ face ao controlo. Relativamente ao parâmetro E (**Tabela 3.47**), só ocorreram variações na primeira data de avaliação, sendo nas folhas biofortificadas em Zn (exceto o ZnO - 1350 g.ha⁻¹) significativamente superiores ao controlo. Já o parâmetro iWUE (**Tabela 3.47**), apesar de apresentar variações apenas na primeira data avaliada, estas não foram relevantes (exceto entre o controlo e o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹).

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.47**), o parâmetro g_s e E não apresentaram variações significativas. Relativamente ao P_n (**Tabela 3.47**), apenas ocorreu uma diminuição significativa com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. No parâmetro iWUE (**Tabela 3.47**) observou-se um decréscimo em todas as amostras com os fertilizantes de Zn.

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.48**), no parâmetro P_n apenas se observaram diferenças significativas na primeira data, com o valor do controlo a ser superior aos restantes (embora só sendo significativo face à amostra com ZnO - 1350 g.ha⁻¹). Adicionalmente, no parâmetro g_s (**Tabela 3.48**), só na primeira data é que ocorreram variações, sendo que neste caso relativamente ao controlo, os valores das restantes amostras, foram significativamente inferiores (exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹). Relativamente ao E e iWUE não se observaram diferenças significativas entre as amostras.

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.48**), nos parâmetros P_n , E e iWUE verificou-se um decréscimo generalizado entre a primeira e a segunda data. Já no parâmetro E (**Tabela 3.48**), observou-se a manutenção dos valores entre a primeira e a segunda data.

Tabela 3.48 -Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 29 julho | 21 agosto |
|--------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| | | P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 13,2 \pm 1,2 aA | 5,7 \pm 1,2 aB |
| ZnO | 900 | 9,2 \pm 1,1 abA | 3,6 \pm 0,9 aB |
| | 1350 | 9,0 \pm 0,9 bA | 3,3 \pm 0,8 aB |
| ZnSO ₄ | 900 | 11,4 \pm 1,1 abA | 2,8 \pm 0,4 aB |
| | 1350 | 10,0 \pm 1,0 abA | 3,8 \pm 0,5 aB |
| | | g_s (mmol H₂O m⁻²s⁻¹) | |
| Controlo | 0 | 155,1 \pm 32,5 aA | 55,7 \pm 11,3 aB |
| ZnO | 900 | 91,6 \pm 12,1 bA | 35,3 \pm 7,0 aB |
| | 1350 | 87,6 \pm 8,4 bA | 30,0 \pm 6,7 aB |
| ZnSO ₄ | 900 | 124,6 \pm 11,3 abA | 30,1 \pm 2,3 aB |
| | 1350 | 99,1 \pm 6,7 bA | 35,6 \pm 4,5 aB |
| | | E (mmol H₂O m⁻²s⁻¹) | |
| Controlo | 0 | 2,3 \pm 0,3 aA | 2,3 \pm 0,4 aA |
| ZnO | 900 | 1,7 \pm 0,3 aA | 1,5 \pm 0,3 aA |
| | 1350 | 1,7 \pm 0,2 aA | 1,4 \pm 0,3 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 2,2 \pm 0,2 aA | 1,4 \pm 0,1 aA |
| | 1350 | 1,9 \pm 0,2 aA | 1,7 \pm 0,2 aA |
| | | $iWUE$ (mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O) | |
| Controlo | 0 | 5,8 \pm 0,2 aA | 2,3 \pm 0,2 aB |
| ZnO | 900 | 5,6 \pm 0,2 aA | 2,2 \pm 0,2 aB |
| | 1350 | 5,5 \pm 0,1 aA | 2,4 \pm 0,1 aB |
| ZnSO ₄ | 900 | 5,1 \pm 0,2 aA | 1,9 \pm 0,1 aB |
| | 1350 | 5,3 \pm 0,1 aA | 2,3 \pm 0,2 aB |

Para as análises de fluorescência de clorofila a , foram considerados, à semelhança do primeiro ano, os seguintes parâmetros: F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$ e $Y_{(NO)}$, assim como os fatores de amortecimento q_L e q_N (**Tabelas 3.49 - 3.52**)

A casta Syrah (**Tabela 3.49**), nos parâmetros F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(NO)}$ e q_N não revelou variações significativas em ambas as datas. No entanto, nos valores de F_v/F_m (**Tabela 3.49**), subsistiu uma tendência para decréscimo dos valores em ambas as datas, mais notória com o ZnO na primeira data de avaliação e nas doses máximas de ZnO e ZnSO₄ (1350 g.ha⁻¹) na última data. Contudo, não se encontrou qualquer efeito negativo na eficiência fotoquímica e atual (F_v'/F_m'), havendo até um aumento na amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ na segunda data (21 de agosto), o que apontou para um prolongamento do funcionamento fotossintético (**Tabela 3.49**).

Tabela 3.49 -Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y(II)$, $Y(NPQ)$, $Y(NO)$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) sujeito a irrigação após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 29 julho | 21 agosto |
|--------------------------------|------|-----------------------|-----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,773 \pm 0,012 aA | 0,755 \pm 0,014 aA |
| ZnO | 900 | 0,738 \pm 0,008 aA | 0,750 \pm 0,017 aA |
| | 1350 | 0,728 \pm 0,006 aA | 0,720 \pm 0,016 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,765 \pm 0,015 aA | 0,746 \pm 0,007 aA |
| | 1350 | 0,753 \pm 0,018 aA | 0,707 \pm 0,019 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,467 \pm 0,025 aA | 0,440 \pm 0,012 aA |
| ZnO | 900 | 0,500 \pm 0,009 aA | 0,451 \pm 0,017 aA |
| | 1350 | 0,486 \pm 0,037 aA | 0,441 \pm 0,032 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,488 \pm 0,045 aA | 0,479 \pm 0,035 aA |
| | 1350 | 0,446 \pm 0,017 aA | 0,510 \pm 0,018 aA |
| | | $Y(II)$ | |
| Controlo | 0 | 0,338 \pm 0,027 aA | 0,239 \pm 0,020 bB |
| ZnO | 900 | 0,306 \pm 0,005 aA | 0,232 \pm 0,021 bB |
| | 1350 | 0,300 \pm 0,034 aA | 0,273 \pm 0,029 bA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,327 \pm 0,032 aA | 0,294 \pm 0,023 bA |
| | 1350 | 0,310 \pm 0,016 aA | 0,371 \pm 0,032 aA |
| | | $Y(NPQ)$ | |
| Controlo | 0 | 0,450 \pm 0,016 aA | 0,558 \pm 0,014 aA |
| ZnO | 900 | 0,474 \pm 0,025 aA | 0,572 \pm 0,022 aA |
| | 1350 | 0,499 \pm 0,041 aA | 0,528 \pm 0,042 abA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,505 \pm 0,042 aA | 0,500 \pm 0,034 abA |
| | 1350 | 0,524 \pm 0,017 aA | 0,429 \pm 0,035 bA |
| | | $Y(NO)$ | |
| Controlo | 0 | 0,212 \pm 0,016 aA | 0,203 \pm 0,007 aA |
| ZnO | 900 | 0,219 \pm 0,024 aA | 0,196 \pm 0,009 aA |
| | 1350 | 0,202 \pm 0,012 aA | 0,199 \pm 0,016 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,168 \pm 0,014 aA | 0,207 \pm 0,011 aA |
| | 1350 | 0,167 \pm 0,011 aA | 0,200 \pm 0,008 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | 0 | 0,807 \pm 0,019 aA | 0,845 \pm 0,004 aA |
| ZnO | 900 | 0,785 \pm 0,028 aA | 0,845 \pm 0,012 aA |
| | 1350 | 0,800 \pm 0,031 aA | 0,823 \pm 0,031 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,831 \pm 0,035 aA | 0,806 \pm 0,032 aA |
| | 1350 | 0,856 \pm 0,014 aA | 0,766 \pm 0,024 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | 0 | 0,604 \pm 0,107 aA | 0,400 \pm 0,036 bB |
| ZnO | 900 | 0,443 \pm 0,018 bA | 0,370 \pm 0,040 bA |
| | 1350 | 0,450 \pm 0,039 bA | 0,478 \pm 0,044 abA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,513 \pm 0,049 abA | 0,453 \pm 0,033 abA |
| | 1350 | 0,564 \pm 0,044 abA | 0,574 \pm 0,058 aA |

Considerando o $Y_{(II)}$ e q_L (**Tabela 3.49**), não se observaram diferenças significativas na primeira data avaliada (exceto nas amostras com ZnO, no parâmetro q_L). Já na segunda data de avaliação (**Tabela 3.49**), verificou-se, relativamente ao controlo, um aumento dos valores em ambos os parâmetros (exceto na amostra com o ZnO - 900 g.ha⁻¹), que foi significativo na amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. Relativamente ao parâmetro $Y_{(NPQ)}$ (**Tabela 3.49**), apenas na segunda data se verificaram diferenças, onde a amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ apresentou um valor significativamente inferior face ao controlo (embora alguns dos valores sujeitos à biofortificação também sejam inferiores ao valor do controlo).

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.49**), não se observaram variações relevantes no F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$ e q_N . Porém no $Y_{(II)}$ (**Tabela 3.49**), observou-se uma descida significativa da primeira para a segunda data, no controlo e na amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹, mantendo-se os restantes constantes. Relativamente ao q_L (**Tabela 3.49**), apenas ocorreram valores significativamente inferiores no controlo da primeira para a segunda data.

Na casta Castelão (**Tabela 3.50**), não se observaram diferenças significativas em ambas as datas, nos parâmetros F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, q_N e q_L . Relativamente a F_v/F_m e F_v'/F_m' (**Tabela 3.50**), após a pulverização com os fertilizantes de Zn, os valores mostraram uma tendência de aumento (exceto no F_v/F_m na primeira data avaliada). Já o $Y_{(II)}$ em ambas as datas avaliadas (**Tabela 3.50**), mostrou com ambos os fertilizantes ZnO e ZnSO₄ nas concentrações mais elevadas (1350 g.ha⁻¹), uma tendência para valores superiores face ao controlo. De modo geral, o $Y_{(NPQ)}$, q_N e q_L na primeira data (**Tabela 3.50**), apresentaram um valor do controlo mais baixo, sendo que na segunda data, no controlo, prevaleceu um valor superior. O único parâmetro com variações relevantes foi o $Y_{(NO)}$ na primeira data de avaliação (**Tabela 3.50**), com o controlo a ser significativamente superior às restantes amostras (exceto com o ZnO - 900 g.ha⁻¹).

Entre as datas (**Tabela 3.50**), os únicos parâmetros com diferenças significativas foram o $Y_{(NPQ)}$ e $Y_{(NO)}$, onde se verificou, no controlo e na amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹, um aumento significativo (no $Y_{(NPQ)}$) e se observou uma diminuição significativa do controlo da primeira para a segunda data (no $Y_{(NO)}$).

Tabela 3.50 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 29 julho | 21 agosto |
|--------------------------------|------|--------------------------------------|----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,806 \pm 0,005 aA | 0,784 \pm 0,011 aA |
| ZnO | 900 | 0,816 \pm 0,009 aA | 0,810 \pm 0,011 aA |
| | 1350 | 0,810 \pm 0,006 aA | 0,820 \pm 0,008 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,820 \pm 0,002 aA | 0,796 \pm 0,019 aA |
| | 1350 | 0,816 \pm 0,007 aA | 0,801 \pm 0,009 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,470 \pm 0,017 aA | 0,344 \pm 0,058 aA |
| ZnO | 900 | 0,495 \pm 0,027 aA | 0,360 \pm 0,030 aA |
| | 1350 | 0,447 \pm 0,036 aA | 0,397 \pm 0,046 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,438 \pm 0,021 aA | 0,337 \pm 0,037 aA |
| | 1350 | 0,452 \pm 0,024 aA | 0,401 \pm 0,031 aA |
| | | Y_(II) | |
| Controlo | 0 | 0,281 \pm 0,014 aA | 0,202 \pm 0,043 aA |
| ZnO | 900 | 0,262 \pm 0,033 aA | 0,198 \pm 0,018 aA |
| | 1350 | 0,285 \pm 0,029 aA | 0,234 \pm 0,037 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,274 \pm 0,015 aA | 0,168 \pm 0,020 aA |
| | 1350 | 0,299 \pm 0,020 aA | 0,263 \pm 0,032 aA |
| | | Y_(NPQ) | |
| Controlo | 0 | 0,503 \pm 0,015 aB | 0,633 \pm 0,044 aA |
| ZnO | 900 | 0,516 \pm 0,033 aB | 0,624 \pm 0,033 aA |
| | 1350 | 0,548 \pm 0,038 aA | 0,603 \pm 0,047 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,579 \pm 0,018 aA | 0,671 \pm 0,028 aA |
| | 1350 | 0,557 \pm 0,019 aA | 0,570 \pm 0,034 aA |
| | | Y_(NO) | |
| Controlo | 0 | 0,216 \pm 0,004 aA | 0,165 \pm 0,007 aB |
| ZnO | 900 | 0,222 \pm 0,004 aA | 0,179 \pm 0,016 aA |
| | 1350 | 0,166 \pm 0,018 bA | 0,163 \pm 0,013 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,147 \pm 0,007 bA | 0,161 \pm 0,011 aA |
| | 1350 | 0,144 \pm 0,007 bA | 0,167 \pm 0,009 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | 0 | 0,824 \pm 0,009 aA | 0,903 \pm 0,026 aA |
| ZnO | 900 | 0,814 \pm 0,020 aA | 0,898 \pm 0,020 aA |
| | 1350 | 0,866 \pm 0,024 aA | 0,888 \pm 0,031 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,890 \pm 0,011 aA | 0,914 \pm 0,017 aA |
| | 1350 | 0,885 \pm 0,011 aA | 0,882 \pm 0,020 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | 0 | 0,443 \pm 0,028 aA | 0,467 \pm 0,048 aA |
| ZnO | 900 | 0,356 \pm 0,021 aA | 0,439 \pm 0,031 aA |
| | 1350 | 0,493 \pm 0,035 aA | 0,459 \pm 0,041 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,489 \pm 0,041 aA | 0,409 \pm 0,049 aA |
| | 1350 | 0,529 \pm 0,053 aA | 0,537 \pm 0,055 aA |

A casta Moscatel, nos parâmetros F_v/F_m e F_v'/F_m' (**Tabela 3.51**), não apresentou diferenças relevantes na primeira data, no entanto na segunda data o F_v/F_m revelou um valor significativamente superior no controle (face à amostra com $ZnSO_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$). No entanto, houve um ligeiro decréscimo nos valores após a biofortificação com Zn (**Tabela 3.51**) em ambas as datas (sendo de evidenciar na primeira data um valor superior do $ZnSO_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ relativamente ao controle). Considerando o parâmetro $Y_{(II)}$ (**Tabela 3.51**), na primeira data observaram-se valores superiores ao controle com ambos os fertilizantes ZnO e $ZnSO_4$ na concentração mais elevada (1350 g.ha^{-1}). Já na segunda data de avaliação (**Tabela 3.51**), a maioria dos valores nas amostras pulverizadas com os fertilizantes em Zn foram superiores ao controle (embora não significativo). Ao nível do $Y_{(NPQ)}$ (**Tabela 3.51**), em ambas as datas, observou-se um valor superior no controle, embora só tenham subsistido diferenças significativas na segunda data, entre o controle e a amostra com $ZnSO_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$. Por oposição (**Tabela 3.51**), o $Y_{(NO)}$ revelou na primeira e segunda data, valores inferiores no controle, embora só significativos na segunda data entre o controle e a amostra com ZnO - 1350 g.ha^{-1} . Relativamente ao q_N (**Tabela 3.51**), observaram-se apenas diferenças significativas na segunda data, entre o controle e a amostra com $ZnSO_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$ (apresentando valores superiores no controle). No parâmetro q_L (**Tabela 3.51**), denotaram-se diferenças em ambas as datas avaliadas, sendo que na primeira data a amostra com $ZnSO_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ apresentou um valor significativamente inferior ao controle. Na segunda data (**Tabela 3.51**), o parâmetro q_L revelou na amostra controle, um valor significativamente superior às amostras com os fertilizantes de Zn na concentração (450 g. ha^{-1}) e significativamente inferior à amostra com $ZnSO_4 - 1350 \text{ g. ha}^{-1}$.

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.51**), os parâmetros F_v'/F_m' e $Y_{(II)}$ não apresentaram variações significativas. Nos parâmetros F_v/F_m e $Y_{(NPQ)}$ (**Tabela 3.51**), observou-se maioritariamente a ausência de diferenças significativas, à exceção da amostra com ZnO - 900 g.ha^{-1} que aumentou entre a primeira e a segunda data. Já no caso do $Y_{(NO)}$ e do q_N (**Tabela 3.51**), entre datas, ocorreu respetivamente um decréscimo e um aumento significativo, no controle e nas amostras com os fertilizantes de Zn na concentração mais alta (1350 g.ha^{-1}). Relativamente ao parâmetro q_L , entre datas (**Tabela 3.51**), existiu um aumento significativo no controle e nas amostras com os fertilizantes ZnO - 1350 g.ha^{-1} e $ZnSO_4 - 900 \text{ g.ha}^{-1}$ e um decréscimo nas amostras com ZnO - 900 g.ha^{-1} .

Tabela 3.51 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_m'/F_v' , $Y(II)$, $Y(NPQ)$, $Y(NO)$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4-6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre amostras na mesma data (a, b, c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 29 julho | 21 agosto |
|--------------------------------|------|--------------------------------------|-----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,773 \pm 0,002 aA | 0,811 \pm 0,008 aA |
| ZnO | 900 | 0,738 \pm 0,014 aB | 0,801 \pm 0,009 abA |
| | 1350 | 0,766 \pm 0,010 aA | 0,803 \pm 0,009 abA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,765 \pm 0,015 aA | 0,770 \pm 0,004 bA |
| | 1350 | 0,791 \pm 0,012 aA | 0,795 \pm 0,012 abA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,459 \pm 0,014 aA | 0,408 \pm 0,026 aA |
| ZnO | 900 | 0,451 \pm 0,034 aA | 0,459 \pm 0,025 aA |
| | 1350 | 0,474 \pm 0,021 aA | 0,451 \pm 0,010 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,469 \pm 0,013 aA | 0,448 \pm 0,022 aA |
| | 1350 | 0,494 \pm 0,011 aA | 0,422 \pm 0,022 aA |
| | | Y(II) | |
| Controlo | 0 | 0,289 \pm 0,028 aA | 0,253 \pm 0,031 aA |
| ZnO | 900 | 0,287 \pm 0,040 aA | 0,271 \pm 0,021 aA |
| | 1350 | 0,309 \pm 0,022 aA | 0,326 \pm 0,026 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,286 \pm 0,022 aA | 0,332 \pm 0,022 aA |
| | 1350 | 0,292 \pm 0,016 aA | 0,238 \pm 0,014 aA |
| | | Y(NPQ) | |
| Controlo | 0 | 0,473 \pm 0,030 aA | 0,571 \pm 0,032 aA |
| ZnO | 900 | 0,470 \pm 0,046 aB | 0,523 \pm 0,028 abA |
| | 1350 | 0,423 \pm 0,025 aA | 0,498 \pm 0,021 abA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,460 \pm 0,018 aA | 0,451 \pm 0,030 bA |
| | 1350 | 0,448 \pm 0,019 aA | 0,568 \pm 0,015 aA |
| | | Y(NO) | |
| Controlo | 0 | 0,238 \pm 0,013 aA | 0,176 \pm 0,014 bB |
| ZnO | 900 | 0,243 \pm 0,012 aA | 0,206 \pm 0,010 abA |
| | 1350 | 0,269 \pm 0,013 aA | 0,176 \pm 0,005 bB |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,255 \pm 0,010 aA | 0,217 \pm 0,009 aA |
| | 1350 | 0,260 \pm 0,012 aA | 0,194 \pm 0,008 abB |
| | | q_N | |
| Controlo | 0 | 0,799 \pm 0,017 aB | 0,877 \pm 0,017 aA |
| ZnO | 900 | 0,782 \pm 0,031 aA | 0,836 \pm 0,021 abA |
| | 1350 | 0,757 \pm 0,023 aB | 0,854 \pm 0,005 abA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,782 \pm 0,010 aA | 0,808 \pm 0,023 bA |
| | 1350 | 0,770 \pm 0,012 aB | 0,865 \pm 0,012 abA |
| | | q_L | |
| Controlo | 0 | 0,485 \pm 0,061 aB | 0,509 \pm 0,084 bA |
| ZnO | 900 | 0,482 \pm 0,049 aA | 0,439 \pm 0,031 cB |
| | 1350 | 0,496 \pm 0,032 aB | 0,591 \pm 0,049 bA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,455 \pm 0,038 abB | 0,613 \pm 0,028 aA |
| | 1350 | 0,427 \pm 0,039 bA | 0,431 \pm 0,026 cA |

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.52**), em todos os parâmetros analisados (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L), verificou-se entre as amostras com os fertilizantes de Zn e o controle a ausência de diferenças significativas.

Tabela 3.52 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 4ª pulverização foliar com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data, ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 29 julho | 21 agosto |
|--------------------------------|------|--------------------------------------|----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,799 \pm 0,007 aA | 0,774 \pm 0,017 aA |
| ZnO | 900 | 0,781 \pm 0,010 aA | 0,773 \pm 0,019 aA |
| | 1350 | 0,795 \pm 0,008 aA | 0,784 \pm 0,030 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,815 \pm 0,004 aA | 0,783 \pm 0,013 aA |
| | 1350 | 0,797 \pm 0,009 aA | 0,809 \pm 0,005 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,469 \pm 0,038 aA | 0,294 \pm 0,016 aB |
| ZnO | 900 | 0,457 \pm 0,040 aA | 0,285 \pm 0,015 aB |
| | 1350 | 0,366 \pm 0,016 aA | 0,380 \pm 0,057 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,413 \pm 0,008 aA | 0,367 \pm 0,042 aA |
| | 1350 | 0,415 \pm 0,029 aA | 0,411 \pm 0,038 aA |
| | | Y_(II) | |
| Controlo | 0 | 0,275 \pm 0,022 aA | 0,181 \pm 0,032 aA |
| ZnO | 900 | 0,266 \pm 0,016 aA | 0,170 \pm 0,027 aA |
| | 1350 | 0,181 \pm 0,027 aA | 0,236 \pm 0,032 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,222 \pm 0,007 aA | 0,206 \pm 0,026 aA |
| | 1350 | 0,256 \pm 0,018 aA | 0,257 \pm 0,041 aA |
| | | Y_(NPQ) | |
| Controlo | 0 | 0,581 \pm 0,025 aA | 0,654 \pm 0,027 aA |
| ZnO | 900 | 0,587 \pm 0,024 aA | 0,705 \pm 0,024 aA |
| | 1350 | 0,663 \pm 0,028 aA | 0,604 \pm 0,044 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,602 \pm 0,016 aA | 0,618 \pm 0,041 aA |
| | 1350 | 0,550 \pm 0,028 aA | 0,575 \pm 0,050 aA |
| | | Y_(NO) | |
| Controlo | 0 | 0,144 \pm 0,011 aA | 0,165 \pm 0,010 aA |
| ZnO | 900 | 0,146 \pm 0,014 aA | 0,125 \pm 0,007 aA |
| | 1350 | 0,156 \pm 0,019 aA | 0,160 \pm 0,020 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,176 \pm 0,010 aA | 0,176 \pm 0,015 aA |
| | 1350 | 0,194 \pm 0,013 aA | 0,168 \pm 0,010 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | 0 | 0,880 \pm 0,020 aA | 0,923 \pm 0,007 aA |
| ZnO | 900 | 0,880 \pm 0,023 aA | 0,945 \pm 0,005 aA |
| | 1350 | 0,911 \pm 0,013 aA | 0,891 \pm 0,029 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,885 \pm 0,009 aA | 0,889 \pm 0,025 aA |
| | 1350 | 0,861 \pm 0,022 aA | 0,872 \pm 0,030 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | 0 | 0,444 \pm 0,063 aA | 0,559 \pm 0,119 aA |
| ZnO | 900 | 0,441 \pm 0,056 aA | 0,545 \pm 0,112 aA |
| | 1350 | 0,395 \pm 0,070 aA | 0,511 \pm 0,047 aA |
| ZnSO ₄ | 900 | 0,407 \pm 0,019 aA | 0,443 \pm 0,012 aA |
| | 1350 | 0,486 \pm 0,029 aA | 0,479 \pm 0,030 aA |

Embora, no parâmetro F_v'/F_m' e $Y_{(II)}$ se tenha observado uma ligeira diminuição dos valores na primeira data (**Tabela 3.52**), mas na segunda data a maioria das amostras com os fertilizantes de Zn apresentaram valores superiores (sendo os valores superiores com ambos os fertilizantes ZnO e ZnSO₄ na concentração mais elevada). Relativamente ao $Y_{(NPO)}$ (**Tabela 3.52**), na primeira data avaliada, o valor mais baixo é observado na amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, já na segunda data obtiveram-se valores inferiores com o ZnO e ZnSO₄ na concentração mais elevada (ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹). No parâmetro $Y_{(NO)}$ (**Tabela 3.52**), na primeira data avaliada, a amostra controlo apresentou um valor ligeiramente inferior às restantes. Contudo, o parâmetro $Y_{(NO)}$ na segunda data, apresentou valores mais baixos nas amostras com ZnO (as amostras com ZnSO₄ mantendo-se perto do controlo). O parâmetro q_N , na primeira data avaliada (**Tabela 3.52**), exibiu valores ligeiramente inferiores no controlo e na segunda data, por oposição, foram observados valores superiores nas amostras com os fertilizantes de Zn. Já o parâmetro q_L apresentou em ambas as datas avaliadas (**Tabela 3.52**), valores superiores no controlo.

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.52**), só ocorreram diferenças significativas no parâmetro F_v'/F_m' com um decréscimo no controlo e amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹.

3.2.5 NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

No segundo ano de ensaio experimental (**Figura 3.32**), realizou-se o cálculo de índices de NDVI, onde, utilizando-se a cor verde para ilustrar vegetação densa e viçosa com valores NDVI próximos de 1, a cor verde-claro a amarelo para representar valores próximo de zero, equivalentes a vegetação seca e/ou solo e os valores negativos exibidos na tonalidade laranja, correspondentes a áreas construídas e corpos de água (Candiago et al., 2015).

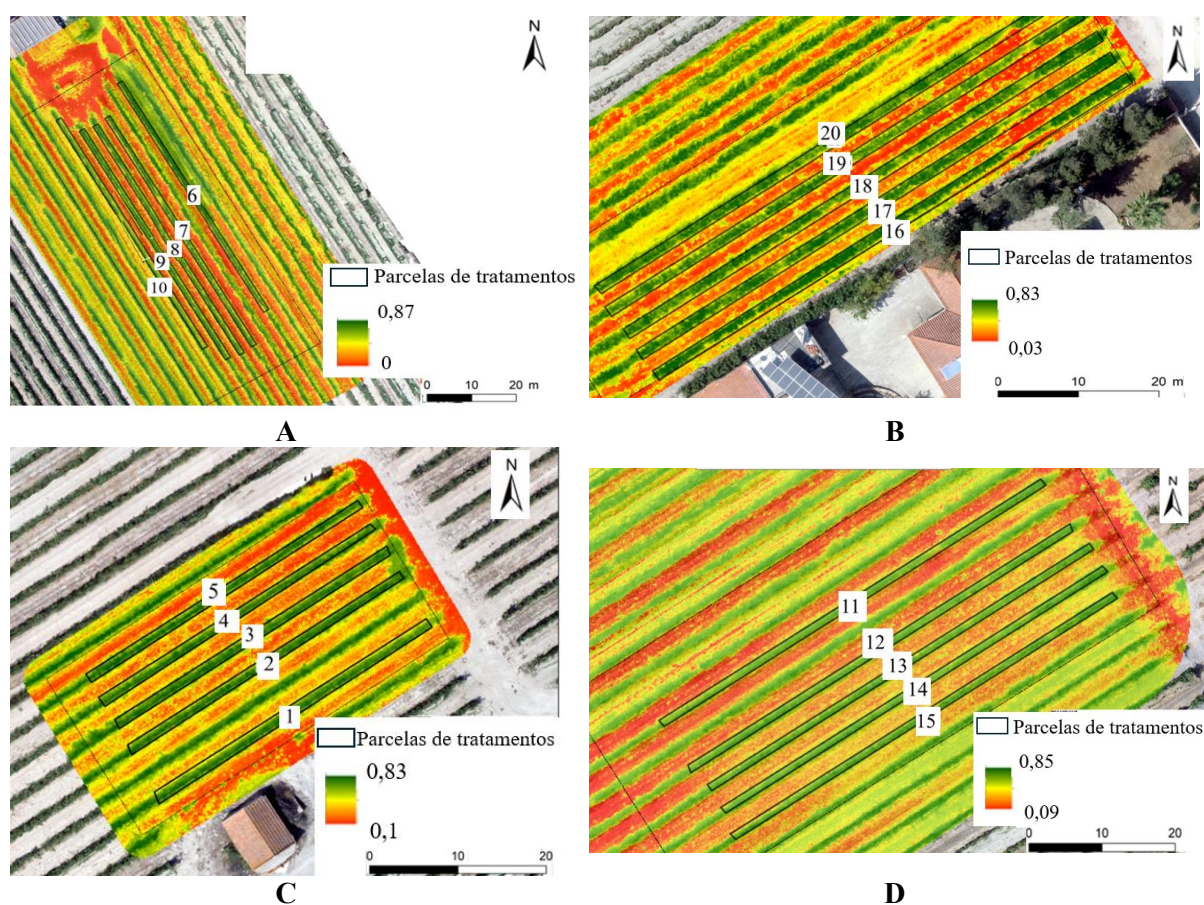


Figura 3.32 - Mapas de NDVI dos quatro campos experimentais no segundo ano de ensaio, após a 4ª pulverização (22 de agosto) e respectivas linhas de ensaio. **A**- Campo Biscaia (casta Syrah), com as linhas: 6- controle, 7- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 8- ZnO - 1350 g.ha⁻¹, 9- ZnSO₄- 900 g.ha⁻¹, 10- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹; **B**- Campo Lagameças (casta Castelão), com as linhas: 20- controle, 19- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 18- ZnO - 1350 g.ha⁻¹, 17- ZnSO₄- 900 g.ha⁻¹, 16- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹; **C**- Campo Lau novo (casta Moscatel), com as linhas: 1- controle, 2- ZnSO₄- 900 g.ha⁻¹, 3- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹, 4- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 5- ZnO - 1350 g.ha⁻¹; **D**- Campo Lau velho (casta Fernão Pires), com as linhas: 11- controle, 12- ZnO - 900 g.ha⁻¹, 13- ZnO - 1350 g.ha⁻¹, 14- ZnSO₄- 900 g.ha⁻¹, 15- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹.

Através dos valores de NDVI (**Figuras 3.32, 3.33**), observou-se que, em termos gerais, nas castas tintas ocorreu uma diminuição do vigor com as pulverizações foliares. No entanto, a casta Syrah manteve um valor médio de 0,61, enquanto que a casta Castelão apresentou um valor médio inferior,

correspondente a 0,53. Por oposição, as castas brancas apresentaram valores superiores após a 4ª pulverização foliar, embora na casta Moscatel os valores sejam superiores (valor médio de 0,61) do que na casta Fernão Pires (valor médio de 0,51). É possível observar nestas castas brancas (Figuras 3.32, 3.33), nas parcelas com o tratamento ZnSO₄, um vigor superior. De modo geral (Figuras 3.32, 3.33), os valores de NDVI são bastante similares, não apresentando variações significativas após a aplicação dos fertilizantes de Zn.

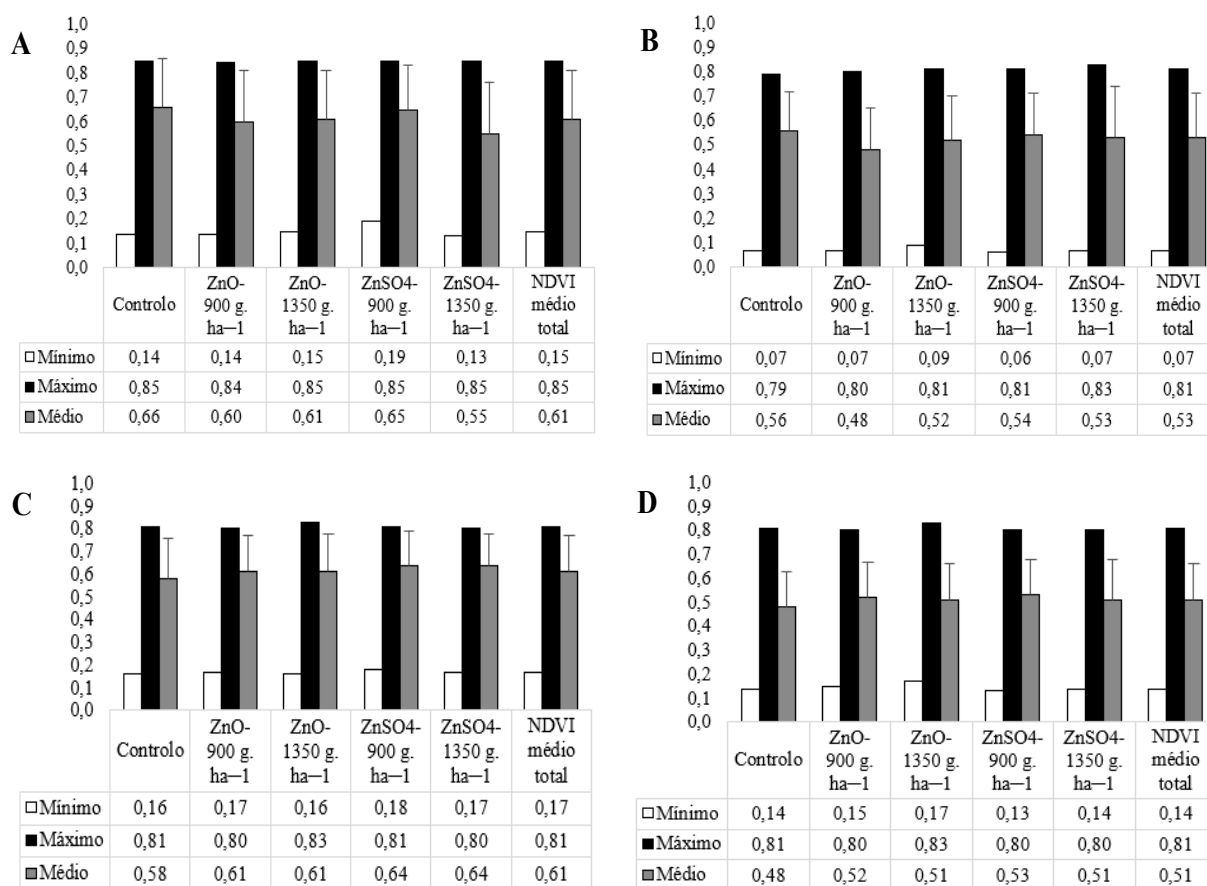


Figura 3.33 - Valores de NDVI mínimos, máximos e médios \pm desvio padrão das vinhas dos quatro campos experimentais e respetivas linhas de ensaio, após a 4ª pulverização foliar nas diferentes castas. (A) Syrah; (B) Castelão; (C) Moscatel e (D) Fernão Pires.

3.2.6 Quantificação de Elementos Minerais nas Folhas e Frutos

Tal como no primeiro ano de ensaio experimental, efetuou-se a monitorização de elementos minerais nas folhas e frutos (com destaque para o Zn e equacionando as relações sinérgicas e antagónicas com outros elementos nutricionais). As análises foram realizadas durante o período entre julho e setembro (correspondente aos meses do ciclo produtivo e terminando no mês da colheita).

3.2.6.1 Folhas

Na recolha de folhas da casta Syrah (**Tabela 3.53**), a 24 de julho (após a 4ª pulverização), verificaram-se, relativamente ao controlo, teores mais elevados e significativos de Zn nas restantes amostras, sendo crescentes com a concentração no caso do ZnO.

Relativamente ao controlo (**Tabela 3.53**), os níveis de Ca, K e S foram significativamente mais elevados em todas as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn (com o teor máximo com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹), excetuando a amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹. O mesmo se verificou no controlo para o Fe (**Tabela 3.53**), porém a amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹ não se evidenciaram diferenças significativas face ao mesmo.

Tabela 3.53 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia) a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras(g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S |
|-------------------------------|------|---------------------|--------------|------------|------------|------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | |
| Controlo | 0 | 19,27±0,63e | 86,74±1,73b | 3,48±0,01d | 1,41±0,00c | 0,17±0,00c |
| ZnO | 900 | 259,89±3,00b | 72,13±4,13b | 2,41±0,01e | 0,81±0,01d | 0,14±0,00d |
| | 1350 | 529,06±2,73a | 117,97±2,61a | 3,84±0,01c | 1,48±0,00b | 0,23±0,01b |
| ZnSO ₄ | 900 | 175,93±0,72c | 117,60±2,32a | 4,42±0,01b | 1,47±0,00b | 0,24±0,01b |
| | 1350 | 154,29±1,73d | 114,21±5,66a | 4,65±0,01a | 2,39±0,00a | 0,28±0,00a |

Nas folhas Castelão (**Tabela 3.54**), relativamente ao controlo, obtiveram-se teores significativamente crescentes de Zn nas restantes amostras, obtendo-se teores mais elevados com o ZnO.

Tabela 3.54 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S |
|-----------------------------------|------|---------------------|-------------|------------|------------|-------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | |
| Controlo | 0 | 58,98±1,17d | 53,97±7,39b | 3,20±0,00c | 2,57±0,00d | 0,33±0,00ab |
| ZnO | 900 | 323,15±1,84b | 58,64±3,43b | 2,50±0,02e | 2,15±0,01e | 0,25±0,00d |
| | 1350 | 367,70±1,20a | 59,28±3,12b | 3,05±0,01d | 3,06±0,01b | 0,30±0,00c |
| ZnSO ₄ | 900 | 200,09±0,57c | 62,64±3,60b | 3,28±0,01b | 2,63±0,01c | 0,34±0,00a |
| | 1350 | 329,76±2,98b | 87,43±3,16a | 3,36±0,01a | 3,62±0,01a | 0,32±0,01b |

Os teores de Fe das amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn (**Tabela 3.54**), face ao controlo, não variaram significativamente (excetuando com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, apresentando um teor

mais elevado). Para o Ca (**Tabela 3.54**), as pulverizações com ZnO levaram a teores significativamente inferiores ao controlo, enquanto a aplicação de ZnSO₄ originou teores significativamente superiores. Ao nível do K (**Tabela 3.54**), a pulverização com os fertilizantes de Zn refletiu valores significativamente superiores face ao controlo (exceto com o ZnO - 900 g.ha⁻¹). Para os teores de S (**Tabela 3.54**), não se observaram diferenças significativas entre as amostras com ZnSO₄ e o controlo.

Relativamente à recolha de folhas da casta Moscatel (**Tabela 3.55**), a 24 de julho (após a 4^a pulverização), verificaram-se, relativamente ao controlo, teores progressivamente mais elevados de Zn com a aplicação foliar de níveis crescentes de ambos os fertilizantes de Zn (sendo significativamente superiores), obtendo-se teores mais elevados com o ZnO.

Para o elemento Fe (**Tabela 3.55**), todas as amostras sujeitas à pulverização com ZnO e ZnSO₄ apresentaram valores significativamente superiores, com as concentrações mais baixas a apresentarem os teores mais elevados. Os teores de Ca (**Tabela 3.55**) variaram significativamente, sendo que face ao controlo, a aplicação de teores progressivamente maiores de Zn levou ao aumento dos teores de Ca, excetuando com o ZnO - 900 g.ha⁻¹. Os teores de K e S (**Tabela 3.55**), face ao controlo, foram significativamente superiores nas restantes amostras.

Tabela 3.55 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 24 de julho (após a 4^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S |
|-----------------------------------|------|---------------------|---------------|------------|--------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | |
| Controlo | 0 | 46,04±0,65e | 48,05±3,63c | 2,61±0,01d | 0,96±0,01d | 0,17±0,00d |
| ZnO | 900 | 172,06±2,75b | 84,37±2,99a | 2,35±0,00e | 1,33±0,00c | 0,19±0,00c |
| | 1350 | 614,32±3,28a | 67,82±3,51b | 3,87±0,00b | 1,56±0,00a,b | 0,27±0,00b |
| ZnSO ₄ | 900 | 119,56±2,87c | 72,83±2,33a,b | 3,16±0,01c | 1,57±0,01a | 0,29±0,00a |
| | 1350 | 86,68±1,08d | 68,41±3,50b | 4,30±0,01a | 1,53±0,01b | 0,29±0,00a,b |

A recolha de folhas da casta Fernão Pires (**Tabela 3.56**), a 24 de julho (após a 4^a pulverização), relativamente ao controlo, revelou teores significativamente mais elevados de Zn com a pulverização foliar dos fertilizantes de Zn, sendo progressivamente crescentes com o aumento da concentração no caso do ZnO (**Tabela 3.56**). Os teores de Fe (**Tabela 3.56**), relativamente ao controlo, foram significativamente diferentes, evidenciando-se teores mais elevados com o ZnO e ZnSO₄ na concentração de 900 g.ha⁻¹. Relativamente ao Ca (**Tabela 3.56**), o controlo apresentou o valor significativamente mais baixo e as amostras com ZnSO₄ os valores mais altos. O elemento K (**Tabela 3.56**), face ao controlo, revelou

teores significativamente mais elevados nas amostras com os fertilizantes de Zn, com a concentração de 1350 g.ha⁻¹ a apresentar os valores mais elevados. Os teores de S (Tabela 3.56), face ao controlo, não variaram de forma significativa, excetuando na amostra com o ZnSO₄ de 900 g.ha⁻¹.

Tabela 3.56 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S |
|-----------------------------------|------|---------------------|--------------|------------|------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | |
| Controlo | 0 | 27,78±0,26e | 121,56±2,04d | 2,60±0,00e | 1,15±0,00e | 0,20±0,01b |
| ZnO | 900 | 175,54±0,95b | 199,32±0,80a | 3,04±0,00c | 1,62±0,01c | 0,25±0,00a,b |
| | 1350 | 496,79±2,52a | 94,91±1,65e | 2,66±0,01d | 1,81±0,00a | 0,24±0,00a,b |
| ZnSO ₄ | 900 | 143,14±0,95d | 183,42±1,32b | 3,40±0,00a | 1,53±0,00d | 0,28±0,00a |
| | 1350 | 160,10±1,69c | 167,03±1,48c | 3,19±0,02b | 1,74±0,01b | 0,24±0,00a,b |

3.2.6.2 Frutos

Ao nível dos frutos realizaram-se diferentes técnicas ao longo do ciclo produtivo nomeadamente: Espectrofluorimetria acoplada com raios-X e espectrofotometria de absorção atómica.

3.2.6.2.1 Espectrofluorimetria Acoplada com Raios-X

Nos frutos da casta Syrah (Tabela 3.57) efetuou-se uma recolha a 24 de julho, tendo-se verificado que os teores de Zn, relativamente ao controlo, apresentaram diferenças significativas nas amostras com ZnO.

Tabela 3.57 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar) sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | S |
|-----------------------------------|------|---------------------|------------|------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | |
| Controlo | 0 | 7,28±0,22c | 2,85±0,02a | 0,51±0,00a | 0,10±0,00a,b |
| ZnO | 900 | 12,22±1,06b | 1,96±0,00d | 0,43±0,00d | 0,08±0,00b |
| | 1350 | 22,23±1,07a | 2,09±0,01c | 0,48±0,00b | 0,10±0,00a |
| ZnSO ₄ | 900 | 7,36±0,65c | 1,93±0,01d | 0,47±0,00c | 0,08±0,00b |
| | 1350 | 10,50±0,81b,c | 2,14±0,00b | 0,48±0,00b | 0,09±0,00a,b |

Para as amostras com ZnSO₄ (**Tabela 3.57**), apesar da ausência de diferenças significativas, os teores aumentaram com a concentração de Zn.

O teor em Ca e K, refletiu, na amostra controle, valores mais elevados, por comparação com as restantes amostras (**Tabela 3.57**), sendo que os teores mais altos foram observados nas concentrações superiores de ZnO e ZnSO₄. Face ao controle, não se observaram diferenças significativas dos teores de S (**Tabela 3.57**).

Na casta Castelão (**Tabela 3.58**), na recolha de frutos a 24 de julho (após a 4^a pulverização), não foram detetados teores de Zn nos frutos nesta fase de desenvolvimento (exceto com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹).

Os níveis de K (**Tabela 3.58**), foram significativamente mais elevados nas amostras biofortificadas em Zn, excetuando-se com o ZnO - 900 g.ha⁻¹. Os teores de Ca (**Tabela 3.58**), relativamente ao controle, foram significativamente mais baixos com a pulverização dos fertilizantes de Zn, excetuando-se com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. Os níveis de S (**Tabela 3.58**), só apresentaram diferenças significativas face ao ZnO - 900 g.ha⁻¹, apresentando valores elevados no controle e amostras com ZnSO₄.

Tabela 3.58 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 24 de julho (após a 4^a pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | S |
|-----------------------------------|------|---------------------|------------|------------|---------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | |
| Controlo | 0 | n.d. | 1,87±0,00c | 0,31±0,00b | 0,062±0,01a |
| ZnO | 900 | n.d. | 1,86±0,01c | 0,18±0,00d | 0,038±0,00b |
| | 1350 | n.d. | 2,07±0,01a | 0,28±0,00c | 0,055±0,00a,b |
| ZnSO ₄ | 900 | 7,05±0,20 | 1,96±0,01b | 0,28±0,00c | 0,065±0,00a |
| | 1350 | n.d. | 2,05±0,01a | 0,35±0,00a | 0,069±0,01a |

*n.d. não detetável

Na casta Moscatel (**Tabela 3.59**), efetuou-se na mesma data que as restantes castas, uma recolha de frutos (após a 4^a pulverização), tendo-se verificado relativamente ao controle, um incremento significativo nos teores de Zn com o ZnO e ZnSO₄, de acordo com o aumento das concentrações aplicadas (não sendo significativo com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹).

Os níveis de Ca (**Tabela 3.59**), apresentaram teores mais elevados no controle e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ face às restantes amostras, porém não apresentaram uma tendência clara. Os teores de K (**Tabela 3.59**), foram todos inferiores ao teor do controle (excetuando com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, com um valor

mais elevado). Os níveis de S (**Tabela 3.59**), relativamente ao controlo, foram significativamente distintos com o ZnO - 900 g.ha⁻¹ e nas amostras com ZnSO₄.

Tabela 3.59 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar) sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn mg.kg ⁻¹ | K % | Ca % | S % |
|-----------------------------------|------|---------------------------|------------|------------|--------------|
| Controlo | 0 | 8,60±0,19d | 1,84±0,01b | 0,44±0,00b | 0,07±0,00b |
| ZnO | 900 | 11,07±0,62b,c | 1,33±0,01e | 0,25±0,00e | 0,06±0,00b,c |
| | 1350 | 14,92±0,37a | 2,13±0,01a | 0,36±0,00c | 0,10±0,00a |
| ZnSO ₄ | 900 | 10,25±0,31c,d | 1,72±0,01c | 0,57±0,00a | 0,10±0,00a |
| | 1350 | 12,37±0,44b | 1,48±0,01d | 0,30±0,00d | 0,06±0,00c |

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.60**), na recolha de frutos a 24 de julho (após a 4ª pulverização), verificou-se que relativamente ao controlo os teores de Zn eram significativamente superiores com os fertilizantes de Zn, excetuando com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹.

Os teores de K (**Tabela 3.60**), foram significativamente inferiores no controlo, por comparação com as restantes amostras biofortificadas em Zn, destacando-se o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ com teores significativamente superiores. Já o elemento Ca (**Tabela 3.60**) apresentou diferenças significativas entre o controlo e as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn, verificando-se valores significativamente superiores com o ZnO e ZnSO₄ na concentração de 450 g.ha⁻¹. Ao nível do S (**Tabela 3.60**), face ao controlo, apenas a amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ foi significativamente superior ao controlo.

Tabela 3.60 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), em 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn mg.kg ⁻¹ | K % | Ca % | S % |
|-----------------------------------|------|---------------------------|------------|------------|--------------|
| Controlo | 0 | 6,44±0,65d | 1,89±0,01e | 0,41±0,00c | 0,07±0,00b |
| ZnO | 900 | 9,98±0,21b,c | 2,12±0,01c | 0,43±0,00b | 0,08±0,00a,b |
| | 1350 | 31,27±0,82a | 2,38±0,00b | 0,39±0,00d | 0,08±0,00b |
| ZnSO ₄ | 900 | 11,03±1,10b | 2,51±0,00a | 0,61±0,00a | 0,10±0,00a |
| | 1350 | 6,77±0,05c,d | 2,03±0,01d | 0,37±0,00e | 0,07±0,00b |

3.2.6.2.2 Espectrofotometria de Absorção Atômica

À semelhança do primeiro ano de ensaio, realizou-se a análise de espectrofotometria de absorção atômica nos frutos à colheita das quatro castas.

Na casta Syrah, nos frutos à colheita (**Tabela 3.61**), verificou-se um incremento significativo nos teores de Zn com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ (indicativo de um incremento face ao controlo de 2,3 vezes), sendo que as restantes amostras também apresentaram teores superiores face ao controlo.

Relativamente ao controlo (**Tabela 3.61**), os níveis de Mg, Fe, Cu, P, K e Ca não variaram de forma significativa (excetuando no caso do K com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹).

Tabela 3.61 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Ca | K | P |
|--------------------------------|------|---------------------|-----------|---------|-----------|----------------|------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | % | |
| Controlo | 0 | 4,51±1,10b | 34,0±2,5a | 411±22a | 12,7±2,3a | 0,047±0,005a,b | 0,91±0,08b | 0,191±0,001a |
| ZnO | 900 | 7,35±0,32a,b | 41,2±3,8a | 441±5a | 12,6±0,9a | 0,061±0,003a | 0,89±0,03b | 0,194±0,003a |
| | 1350 | 10,37±1,46a | 34,7±1,9a | 441±7a | 10,7±1,0a | 0,055±0,003a,b | 0,91±0,07b | 0,193±0,003a |
| ZnSO ₄ | 900 | 6,08±1,10a,b | 44,7±1,5a | 444±2a | 13,1±0,6a | 0,037±0,003b | 1,28±0,13a | 0,193±0,004a |
| | 1350 | 8,25±0,32a,b | 43,7±0,6a | 428±11a | 11,0±0,9a | 0,054±0,006a,b | 0,90±0,02b | 0,190±0,007a |

Na casta Castelão, a recolha à colheita de frutos (**Tabela 3.62**), revelou teores de Zn superiores com a aplicação do ZnO e ZnSO₄ (com um aumento progressivo ao longo das diferentes concentrações), ainda que este aumento seja apenas significativo na concentração mais elevada (1350 g.ha⁻¹), face ao controlo. Os teores atingiram aumentos de 3,8– 4,3 vezes, face ao controlo.

Tabela 3.62 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Ca | K | P |
|--------------------------------|------|---------------------|------------|---------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | % | |
| Controlo | 0 | 1,51±0,23b | 13,3±2,93a | 426±3a | 9,0±0,1b | 0,024±0,001a | 0,80±0,01a,b | 0,218±0,006a |
| ZnO | 900 | 2,44±0,04b | 13,9±5,38a | 431±7a | 9,6±0,6a,b | 0,028±0,004a | 0,90±0,03a | 0,229±0,009a |
| | 1350 | 6,45±0,45a | 19,9±3,29a | 442±4a | 10,1±0,1a,b | 0,036±0,001a | 0,90±0,05a | 0,234±0,004a |
| ZnSO ₄ | 900 | 2,43±0,25b | 25,3±3,63a | 423±16a | 9,7±0,2a,b | 0,031±0,003a | 0,57±0,08b | 0,233±0,008a |
| | 1350 | 5,72±0,56a | 21,1±1,55a | 440±1a | 10,7±0,0a | 0,026±0,004a | 0,86±0,06a | 0,236±0,003a |

Os teores de Mg, Fe, Cu, P, K e Ca (**Tabela 3.62**), relativamente ao controlo, não variaram entre as diferentes amostras (excetuando o Cu com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹).

Nos frutos à colheita, da casta Moscatel (**Tabela 3.63**), verificou-se um teor mais elevado nas amostras com os fertilizantes de Zn, sendo maior na amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ (face ao controlo, com um aumento de 1,2 vezes), apesar de não ser significativo.

Os teores de Mg, Fe, Cu, K e P (**Tabela 3.63**), não variaram significativamente entre amostras (excetuando com o Cu, entre o controlo e o tratamento com ZnO - 900 g.ha⁻¹). No caso do Ca (**Tabela 3.63**), o controlo foi significativamente distinto das restantes amostras biofortificadas em Zn (excetuando o tratamento com ZnO - 1350 g.ha⁻¹).

Tabela 3.63 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atómica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Ca | K | P |
|--------------------------------|------|---------------------|-----------|---------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | % | | |
| Controlo | 0 | 6,04±0,67a | 52,4±1,8a | 428±6a | 10,1±0,5b | 0,023±0,001b | 0,60±0,02a,b | 0,214±0,003a |
| ZnO | 900 | 6,44±0,50a | 53,9±2,6a | 404±18a | 14,5±0,3a | 0,033±0,003a | 0,63±0,01a | 0,206±0,007a |
| | 1350 | 7,91±0,28a | 53,7±5,1a | 389±3a | 9,1±0,2b | 0,023±0,000b | 0,59±0,02a,b | 0,207±0,015a |
| ZnSO ₄ | 900 | 6,58±0,65a | 65,9±2,6a | 421±17a | 12,0±1,6a,b | 0,033±0,001a | 0,48±0,03a,b | 0,224±0,005a |
| | 1350 | 7,49±0,75a | 61,9±3,1a | 394±11a | 9,7±0,6b | 0,033±0,001a | 0,44±0,07b | 0,209±0,016a |

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.64**), nos frutos à colheita, visualizou-se um aumento de Zn entre 1,1 e 1,3 vezes face ao controlo (embora não sendo significativo).

Nos teores em Mg, Fe, Cu e P (**Tabela 3.64**), relativamente ao controlo, não se detetaram variações significativas entre as amostras. Os teores de Ca (**Tabela 3.64**) diminuíram com a pulverização dos fertilizantes de Zn face ao controlo, sendo significativamente distintos com o ZnSO₄.

Os teores de K (**Tabela 3.64**), de todas as amostras com ZnO e ZnSO₄ (excetuando o ZnO - 900 g.ha⁻¹), foram inferiores ao controlo.

Tabela 3.64 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b, c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Ca | K | P |
|-----------------------------------|------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | % | |
| Controlo | 0 | 7,92 \pm 0,87a | 47,5 \pm 1,4a | 435 \pm 14a | 12,1 \pm 1,9a,b | 0,070 \pm 0,003a | 1,25 \pm 0,07a | 0,197 \pm 0,003a |
| ZnO | 900 | 9,66 \pm 2,03a | 51,5 \pm 1,2a | 451 \pm 1a | 10,5 \pm 1,4b | 0,050 \pm 0,006a,b | 0,84 \pm 0,03c | 0,200 \pm 0,002a |
| | 1350 | 10,47 \pm 2,21a | 54,1 \pm 1,9a | 441 \pm 8a | 12,3 \pm 1,3a,b | 0,057 \pm 0,005a,b | 1,12 \pm 0,04a,b | 0,195 \pm 0,006a |
| ZnSO ₄ | 900 | 6,73 \pm 0,24a | 55,7 \pm 5,8a | 445 \pm 8a | 17,6 \pm 1,9a | 0,048 \pm 0,003b | 0,93 \pm 0,03b,c | 0,209 \pm 0,004a |
| | 1350 | 8,88 \pm 0,15a | 51,7 \pm 3,1a | 442 \pm 7a | 11,4 \pm 0,3a,b | 0,049 \pm 0,005b | 0,98 \pm 0,00b,c | 0,209 \pm 0,001a |

3.2.7 Parâmetros de Qualidade da Uva

3.2.7.1 Densidade, Percentagem de Peso Seco

Na casta Syrah (**Tabela 3.65**), a densidade, peso fresco do cacho e o peso seco não variaram entre amostras, oscilando entre 1049 – 1143 kg.m⁻³, 185 – 298 g, 24,0 – 26,4 %, respetivamente.

Tabela 3.65 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah, obtidas no campo experimental da Biscaia, no segundo ano de ensaio. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 281 \pm 17,5a | 1049 \pm 17a | 25,1 \pm 0,5a |
| ZnO | 900 | 185 \pm 31,6a | 1056 \pm 20a | 24,0 \pm 1,5a |
| | 1350 | 211 \pm 12,9a | 1113 \pm 58a | 26,1 \pm 0,9a |
| ZnSO ₄ | 900 | 258 \pm 20,7a | 1143 \pm 76a | 24,4 \pm 0,8a |
| | 1350 | 298 \pm 97,8a | 1108 \pm 38a | 26,4 \pm 0,3a |

Relativamente à casta Castelão (**Tabela 3.66**), o peso fresco do cacho, a densidade, e a percentagem de peso seco, tal como para a casta Syrah, não variaram entre as amostras, oscilando entre 134 – 268 g, 1274 – 1487 kg.m⁻³ e 24,7 – 27,9 %, respetivamente.

Tabela 3.66 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Castelão, obtidas no campo experimental de Lagameças, no segundo ano de ensaio. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 268 \pm 69,5a | 1487 \pm 40a | 27,6 \pm 0,7a |
| ZnO | 900 | 205 \pm 25,1a | 1296 \pm 45a | 27,9 \pm 1,0a |
| | 1350 | 168 \pm 8,1a | 1274 \pm 76a | 25,7a \pm 1,0a |
| ZnSO ₄ | 900 | 209 \pm 42,0a | 1287 \pm 86a | 24,7 \pm 0,2a |
| | 1350 | 134 \pm 9,7a | 1282a \pm 9,7a | 25,1 \pm 0,6a |

Na casta Moscatel (**Tabela 3.67**), os mesmos parâmetros foram determinados, sendo que o peso fresco do cacho, a densidade e a percentagem de peso seco também não variaram após a pulverização com os fertilizantes de Zn, oscilando entre 245 – 440 g, 888 – 1055 kg.m⁻³ e 19,6 – 21,8%, respetivamente.

Tabela 3.67 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* L. casta Moscatel, obtidas no campo experimental do Lau Novo, no segundo ano de ensaio. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 424 \pm 12,0a | 888 \pm 51a | 20,0 \pm 0,5a |
| ZnO | 900 | 406 \pm 45,5a | 898 \pm 83a | 20,4 \pm 1,1a |
| | 1350 | 440 \pm 91,8 a | 909 \pm 50a | 21,8 \pm 1,5a |
| ZnSO ₄ | 900 | 245 \pm 30,6 a | 1055 \pm 64a | 19,6 \pm 1,1a |
| | 1350 | 429 \pm 23,4 a | 842 \pm 61a | 20,4 \pm 0,9a |

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.68**), à semelhança das restantes castas, considerando o peso fresco do cacho, a densidade e percentagem de peso seco, não ocorreram variações entre as amostras, oscilando entre 54 – 151 g, 1000 – 2028 kg.m⁻³, e 16,5 – 24,8 %, respetivamente.

Tabela 3.68 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires, obtidas no campo experimental do Lau Velho, no segundo ano do ensaio. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Controlo | 0 | 54 \pm 2,8a | 2028 \pm 350a | 25,5 \pm 1,1a,b |
| ZnO | 900 | 140 \pm 19,4a | 1578 \pm 178a | 27,6 \pm 1,2a |
| | 1350 | 126 \pm 18,6a | 1264 \pm 152a | 26,7 \pm 1,2a,b |
| ZnSO ₄ | 900 | 121 \pm 20,7a | 1577 \pm 151a | 22,7 \pm 0,9b |
| | 1350 | 151 \pm 42,0a | 1192 \pm 86a | 23,8 \pm 0,7a,b |

3.2.7.2 Parâmetros Colorimétricos

A análise colorimétrica pelo sistema CIELab (**Figura 3.34**), revelou que a película dos frutos, na recolha a 24 de julho (após a 4ª pulverização foliar), e à colheita na casta Syrah, não apresentaram variações significativas entre as amostras dos frutos. Na casta Castelão (**Figura 3.34**), os frutos após a 4ª pulverização foliar e à colheita revelaram a ausência de variações significativas (exceto entre o controlo e a amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹, na 1ª recolha efetuada).

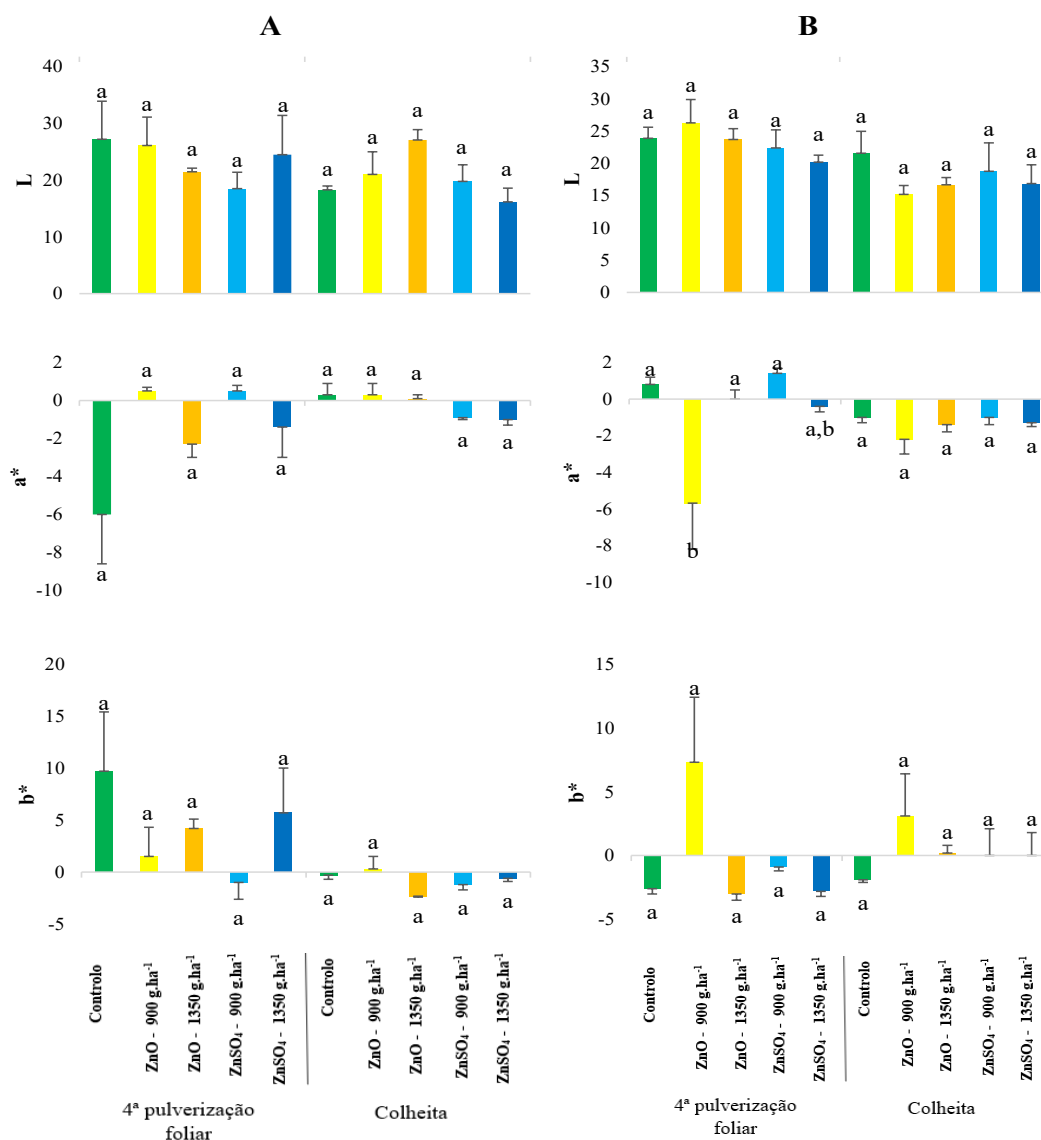


Figura 3.34 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas tintas Syrah (A) e Castelão (B), a 24 de julho, após a 4ª pulverização foliar e à colheita (14 e 25 de setembro para a casta Syrah e Castelão, respetivamente). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

Contudo, a casta branca Moscatel (**Figura 3.35**), não apresentou diferenças significativas na película dos frutos após a 4ª pulverização foliar, embora à colheita se tenham verificado algumas variações nos parâmetros colorimétricos (ainda que não sendo significativas). À colheita, apenas o parâmetro b*, apresentou diferenças significativas entre o controlo e a amostra com ZnO - 1350 g.ha⁻¹. Os frutos da casta Fernão Pires (**Figura 3.35**), tal como na casta Moscatel, após a 4ª pulverização foliar não revelaram variações relevantes, mas à colheita evidenciaram-se diferenças significativas no parâmetro b* entre o controlo e a amostra com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹.

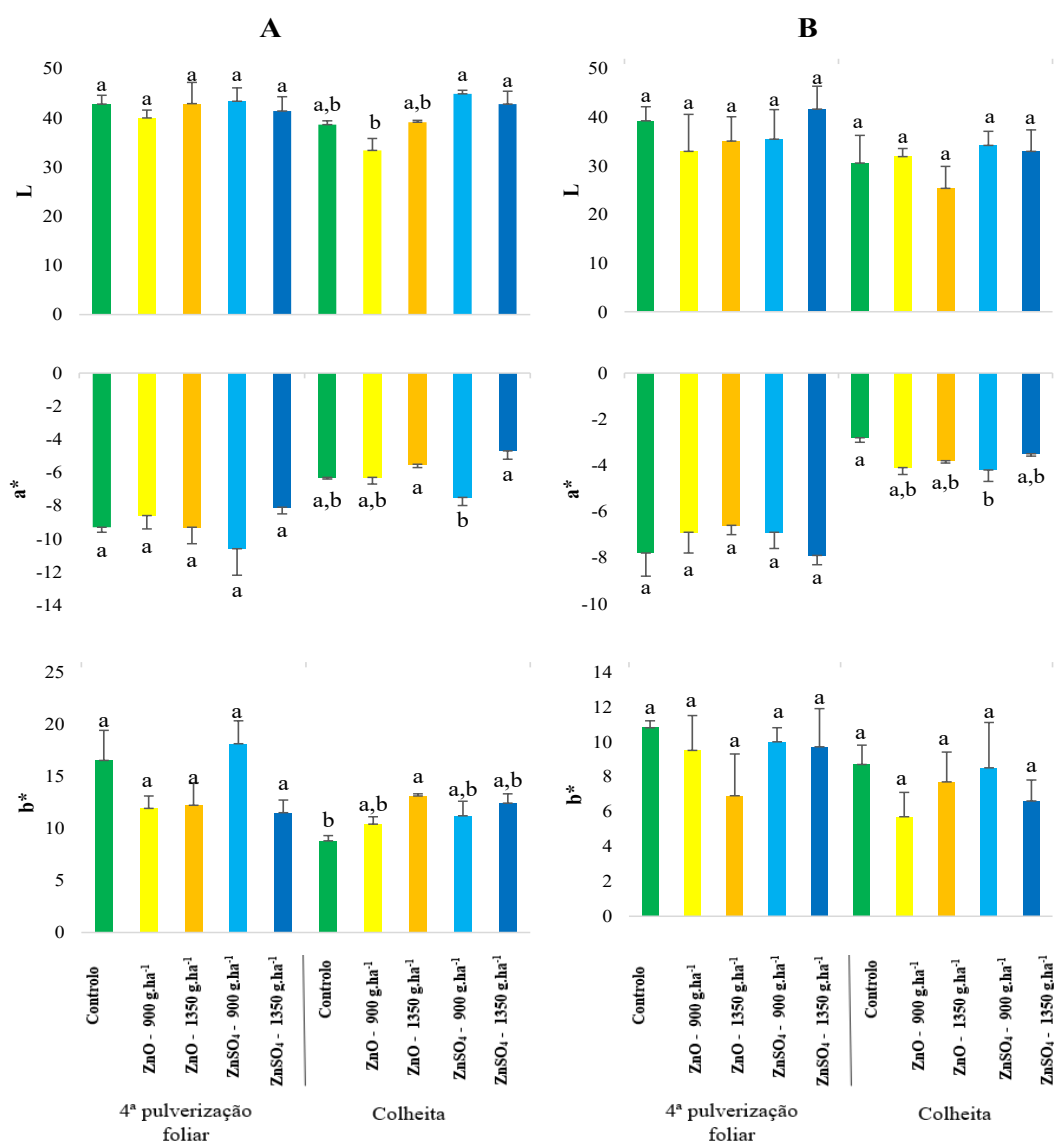


Figura 3.35 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas brancas Moscatel (A) e Fernão Pires (B), a 24 de julho, após a 4ª pulverização foliar e à colheita (10 de setembro e 26 de agosto para a casta Moscatel e Fernão Pires, respetivamente). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

De modo geral, evidenciaram-se à colheita valores de L (luminosidade) superiores nas castas brancas (Moscatel e Fernão Pires). No parâmetro a^* , observam-se valores negativos mais elevados nas castas brancas, o que indica uma maior contribuição da tonalidade verde. Já no parâmetro b^* , distinguem-se valores positivos nas castas brancas (maior contribuição da tonalidade amarela) e valores negativos nas castas tintas (maior contribuição da tonalidade azul).

Na análise colorimétrica de varrimento na região espectral do visível (450 - 650 nm) (Figura 3.36), à colheita, para todas as castas, verificaram-se dois comprimentos de onda que se destacaram com valores de transmitância elevados (nos 550 e 650 nm, à semelhança do primeiro ano de ensaio). Na casta Fernão Pires, observaram-se, no espectro de radiação do visível, variações significativas na transmitância colorimétrica entre as diferentes amostras (excetuando a 600 nm).

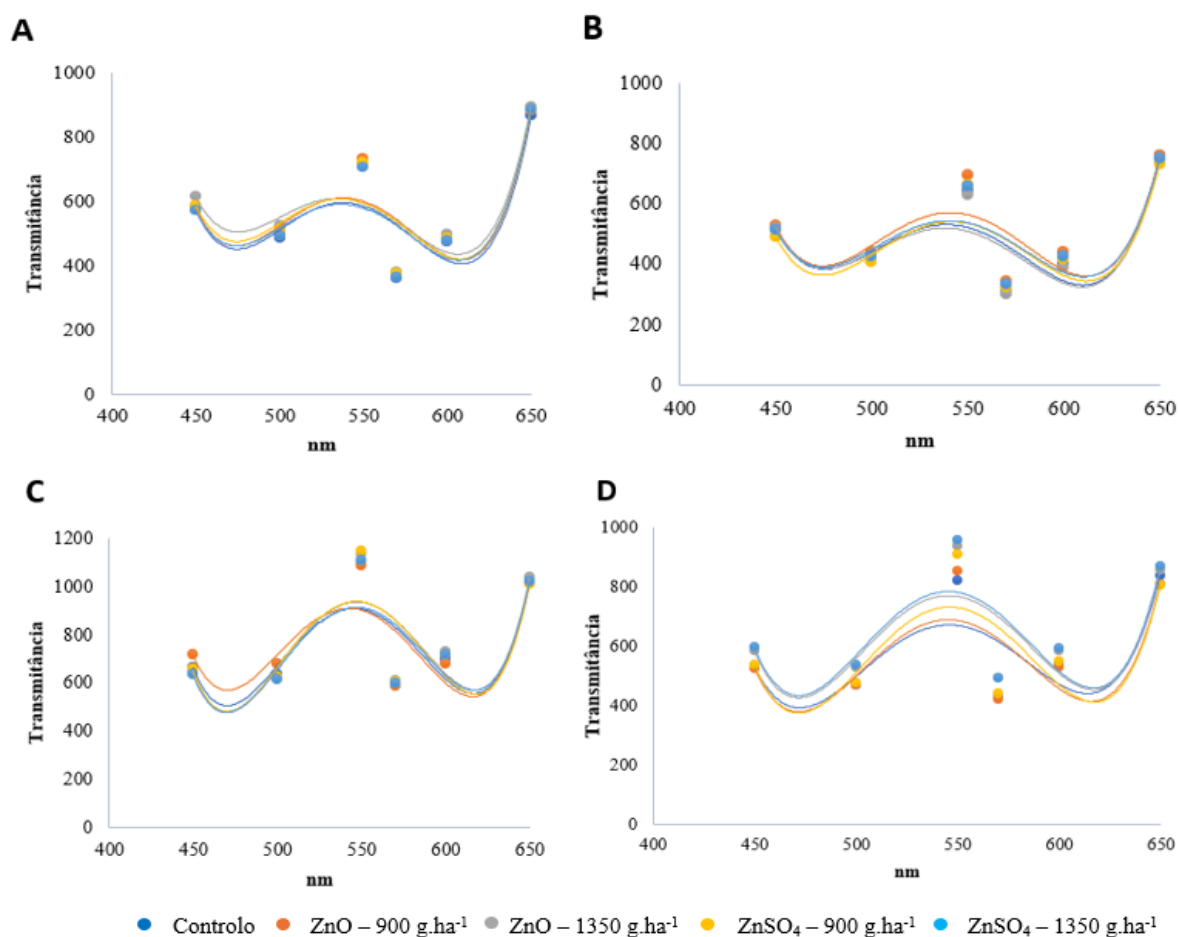


Figura 3.36 - Valores médios da transmitância colorimétrica ($n = 3$), na banda dos 450 – 650 nm na película dos frutos à colheita da casta *Vitis vinifera* no segundo ano de ensaio. (A) Casta Syrah; (B) Casta Castelão; (C) Casta Moscatel; (D) Casta Fernão Pires. A tabela com os valores e respetivo processamento estatístico pode ser consultada no Anexo A.3.

Nas castas Moscatel, Castelão e Syrah não se quantificaram variações significativas na transmissão colorimétrica entre as diferentes amostras (excetuando na casta Syrah nos 500 nm) (**Figura 3.36**). Nas castas tintas (Castelão e Syrah), observaram-se valores mínimos a 600 nm, por comparação com as castas Fernão Pires e Moscatel (**Figura 3.36**).

3.2.7.3 Teor de Sólidos Solúveis Totais e Açúcares Solúveis

O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) foi realizado à colheita (**Tabela 3.69**), tendo-se verificado na casta Syrah percentagens superiores nas uvas sujeitas às pulverizações com os fertilizantes de Zn (embora sendo significativo apenas entre o controlo e a amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹). O teor em sólidos solúveis totais nesta casta oscilou entre 18,7 – 24,3 °Brix.

Na casta Castelão (**Tabela 3.69**), o controlo apresentou um valor de sólidos solúveis totais superior, no entanto só significativamente relevante comparativamente às uvas com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹. Relativamente ao teor em sólidos solúveis totais, verificou-se que estes oscilaram entre 20,8 – 26,3 °Brix.

Relativamente ao teor de sólidos solúveis totais na casta Moscatel (**Tabela 3.69**), as uvas com ZnO e ZnSO₄ apresentaram um valor superior, embora só seja significativo entre o controlo e a amostra com ZnO - 1350 g.ha⁻¹. Ao nível dos valores encontrados, estes variaram entre 17,7 – 23 °Brix (**Tabela 3.69**).

Tal como na casta Moscatel (**Tabela 3.69**), as uvas da casta Fernão Pires sujeitas às pulverizações com ZnO e ZnSO₄ apresentaram um valor mais elevado, significativamente relevante entre o controlo e as amostras com ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹. Os valores nesta casta variaram no intervalo de 18,0 – 24 °Brix.

Tabela 3.69 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), Castelão (campo Lagameças), Moscatel (campo Lau Novo) e Fernão Pires (Campo Lau Velho). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Syrah | Castelão | Moscatel | Fernão Pires |
|--------------------------------|------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Controlo | 0 | 18,7±1,7b | 26,3±0,9a | 17,7±0,3b | 18,0±0,6b |
| ZnO | 900 | 19,3±0,7b | 22,0±0,6a,b | 17,7±0,9b | 22,3±0,9a,b |
| | 1350 | 24,3±0,3a | 25,7±1,8a | 23,0±1,0a | 24,0±1,5a |
| ZnSO ₄ | 900 | 19,7±0,9a,b | 20,8±0,4b | 19,7±0,9a,b | 23,3±0,3a |
| | 1350 | 21,0±1,0a,b | 22,0±0,6a,b | 18,0±0,6b | 18,0±0,6b |

Como realizado no primeiro ano do ensaio, no segundo ano realizou-se a determinação do perfil de açúcares solúveis (sacarose, glucose e frutose) presentes nas uvas das quatro castas em estudo, no entanto os níveis de sacarose foram residuais. Neste sentido na **Figura 3.37** encontram-se os açúcares solúveis quantificados, nomeadamente, glucose, frutose e os açúcares totais. O perfil de açúcares solúveis nas uvas controlo (**Figura 3.37**), foi similar entre as castas brancas e tintas, observando-se a seguinte ordem de grandeza: Frutose > Glucose. As amostras submetidas à biofortificação em Zn (**Figura 3.37**), demonstraram o mesmo perfil de açúcares solúveis na casta Castelão, Moscatel e Fernão Pires (exceto a amostra com ZnO - 900 g.ha⁻¹ da casta Castelão). Dado que os teores de glucose e frutose são similares (**Figura 3.37**), na casta Syrah evidenciaram-se ligeiras variações nas proporções, que levaram à alteração do perfil dos açúcares solúveis.

Globalmente, observaram-se teores de glucose e frutose similares e também dentro da mesma casta, considerando o controlo e as amostras sujeitas à biofortificação em Zn (**Figura 3.37**). Relativamente à glucose (**Figura 3.37**), as amostras biofortificadas em Zn das castas Syrah e Moscatel, apresentaram teores superiores face às uvas controlo (exceto as amostras com o ZnO - 900 g.ha⁻¹ da casta Syrah). Por oposição, nas castas Castelão e Fernão Pires (**Figura 3.37**), observaram-se teores inferiores de glucose após a biofortificação em Zn (evidenciando-se um valor inferior apresentado na amostra com ZnO - 1350 g.ha⁻¹ na casta Castelão).

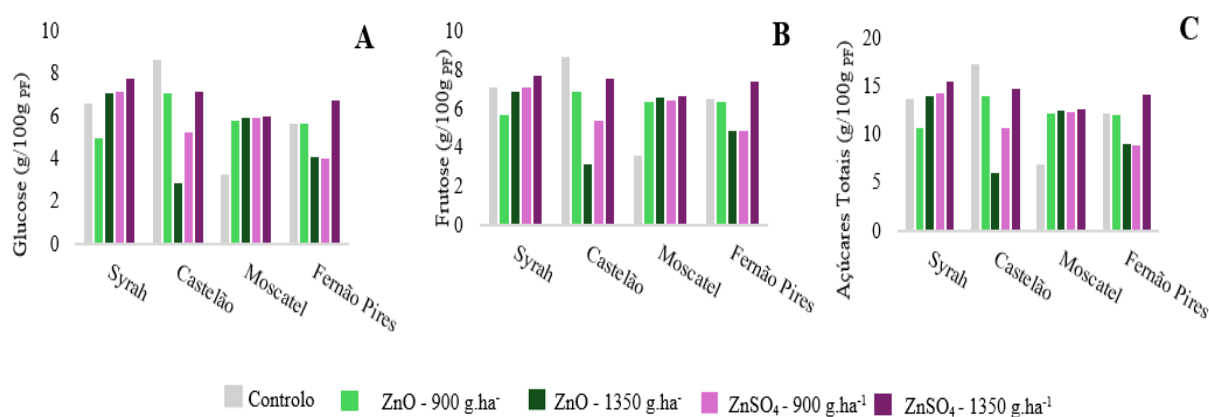


Figura 3.37 - Valores médios (n = 3) dos açúcares solúveis glucose, frutose e açúcares totais solúveis, de frutos de *Vitis vinifera* L. à colheita, das castas Syrah (14 de setembro), Castelão (25 de setembro), Moscatel (10 de setembro), e Fernão Pires (26 de agosto), provenientes de Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia respetivamente. O erro padrão foi inferior a 3%. A- Glucose; B- Frutose; C- Açúcares totais

Relativamente aos teores de frutose (**Figura 3.37**), as amostras das uvas controlo apresentaram maioritariamente teores ligeiramente superiores comparativamente às amostras com os fertilizantes de Zn (exceto

na casta Moscatel). Adicionalmente, salienta-se que se denotaram valores superiores de frutose com o ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, face ao controlo nas castas Syrah e Fernão Pires (**Figura 3.37**).

A quantificação dos açúcares totais neste segundo ano de ensaio (**Figura 3.37**), traduziu essencialmente o somatório dos valores de glucose e frutose, uma vez que a sacarose não foi detetada (devido aos seus valores residuais). Neste contexto, observaram-se teores superiores nas amostras biofortificadas em Zn na casta Moscatel e Syrah (exceto com o tratamento ZnO - $900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ na casta Syrah) (**Figura 3.37**). Por oposição, nas castas Fernão Pires e Syrah (**Figura 3.37**), verificaram-se teores superiores nas amostras controlo (exceto com o ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ na casta Fernão Pires).

3.2.7.4 Ácidos gordos

Em geral, observaram-se teores de AGT superiores nas castas Moscatel e Syrah relativamente à casta Castelão e Fernão Pires (**Tabela 3.70**). Complementarmente (**Tabela 3.70**), não se verificaram diferenças significativas nos AGT nas castas Moscatel e Fernão Pires, após a aplicação de ZnO e ZnSO_4 . Na casta Castelão (**Tabela 3.70**), não ocorreram alterações nos teores de ácidos gordos nas uvas provenientes de videiras pulverizadas com ZnO , mas os valores tenderam a aumentar com a aplicação do ZnSO_4 , ocorrendo valores significativamente mais elevados com o ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ comparativamente ao controlo.

Na casta Syrah, de modo geral (**Tabela 3.70**), relativamente ao controlo, não se observaram diferenças significativas. No entanto, entre a amostra com ZnO - $900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ e o ZnO - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ observaram-se diferenças significativas, apresentando o valor mais alto e mais baixo, respetivamente.

O perfil dos AG nas videiras controlo (**Tabela 3.70**), apresentou variações nas percentagens, mas manteve como AG mais abundantes o C16:0, o C18:2, e C18:3 em todas as castas (exceto em casos pontuais na casta Castelão). Em menor quantidade surgiram o C18:0 e C18:1 (**Tabela 3.70**). De modo geral, com a biofortificação os perfis de AG mantiveram-se, apesar de ocorrerem alterações nas percentagens (**Tabela 3.70**). Na casta Syrah, verificaram-se diferenças significativas nos AG < C16:0, onde o teor nas uvas controlo foi significativamente superior aos restantes e no C18:0, C18:1 e C18:2, onde o controlo revelou teores significativamente inferiores às amostras com ZnO - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, ZnO - $900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, respetivamente (**Tabela 3.70**). Na casta Castelão, não se observaram diferenças significativas nas percentagens de ácidos gordos (**Tabela 3.70**). Já na casta Moscatel evidenciaram-se diferenças significativas nos AG < C16:0, sendo inferior no controlo, face à amostra com ZnSO_4 - $900 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ e no C18:0, onde o controlo é superior à amostra com ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ (**Tabela 3.70**). Na casta Fernão Pires, nos AG < C16:0 ocorreu um aumento significativo com o ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ face ao controlo (**Tabela 3.70**).

Apesar destas variações, os valores de DBI mantiveram-se estáveis, sem apresentarem diferenças significativas nas quatro castas.

Tabela 3.70 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do teor de ácidos gordos totais (AGT), perfil de ácidos gordos e grau de insaturação (DBI, *double bond index*) dos lípidos de bagos de uva nas quatro castas em estudo no segundo ano de ensaio. Ácidos gordos de cadeia inferior a C16 (<C16); Ácido palmítico (C16:0); Ácido esteárico (C18:0); Ácido oleico (C18:1); Ácido linoleico (C18:2); Ácido linolénico (C18:3). As letras a - c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre as amostras de cada casta (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| | Amostras (g.ha ⁻¹) | AGT (g.100g ⁻¹ PF) | mol % | | | | | DBI | | |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| | | | <C16:0 | C16:0 | C18:0 | C18:1 | C18:2 | | C18:3 | |
| Syrah | Controlo | 0 | 2,17 \pm 0,24ab | 4,61 \pm 0,48a | 37,73 \pm 2,54a | 7,08 \pm 0,33b | 8,70 \pm 0,17b | 22,92 \pm 1,78b | 18,95 \pm 1,91a | 2,30 \pm 0,34a |
| | ZnO | 900 | 2,53 \pm 0,28a | 1,97 \pm 0,12b | 33,19 \pm 1,01a | 6,54 \pm 0,21b | 10,77 \pm 1,37ab | 29,28 \pm 0,62a | 18,25 \pm 0,79a | 2,98 \pm 0,07a |
| | | 1350 | 1,58 \pm 0,07b | 1,89 \pm 0,20b | 31,84 \pm 3,06a | 9,84 \pm 0,60a | 12,08 \pm 0,88ab | 26,14 \pm 1,65ab | 18,22 \pm 1,49a | 2,77 \pm 0,32a |
| | ZnSO ₄ | 900 | 1,84 \pm 0,18ab | 1,88 \pm 0,14b | 33,93 \pm 1,10a | 7,67 \pm 0,78ab | 11,58 \pm 0,47ab | 28,43 \pm 0,54ab | 16,51 \pm 0,60a | 2,72 \pm 0,10a |
| | | 1350 | 1,84 \pm 0,04ab | 1,87 \pm 0,13b | 32,60 \pm 0,62a | 6,47 \pm 0,26b | 12,91 \pm 0,49a | 28,42 \pm 1,15ab | 17,73 \pm 0,56a | 3,00 \pm 0,04a |
| Castelão | Controlo | 0 | 0,86 \pm 0,09b | 3,10 \pm 0,39a | 40,12 \pm 3,48a | 11,87 \pm 0,59a | 3,53 \pm 0,23a | 28,32 \pm 3,52a | 13,06 \pm 0,60ab | 1,83 \pm 0,25a |
| | ZnO | 900 | 0,78 \pm 0,10b | 3,04 \pm 0,30a | 35,56 \pm 1,31a | 14,87 \pm 0,08a | 4,18 \pm 0,47a | 29,46 \pm 2,01a | 12,89 \pm 0,11ab | 1,91 \pm 0,12a |
| | | 1350 | 0,95 \pm 0,15ab | 2,30 \pm 0,18a | 30,21 \pm 2,47a | 12,35 \pm 0,50a | 3,95 \pm 0,12a | 35,23 \pm 1,82a | 15,97 \pm 1,23a | 2,77 \pm 0,32a |
| | ZnSO ₄ | 900 | 1,28 \pm 0,03ab | 2,63 \pm 0,27a | 34,35 \pm 2,15a | 14,13 \pm 0,92a | 4,86 \pm 0,08a | 30,00 \pm 1,50a | 14,02 \pm 0,57ab | 2,11 \pm 0,17a |
| | | 1350 | 1,46 \pm 0,16a | 2,48 \pm 0,33a | 38,07 \pm 1,26a | 13,01 \pm 1,42a | 4,93 \pm 0,48a | 29,02 \pm 1,41a | 12,48 \pm 0,10b | 1,88 \pm 0,09a |
| Moscatel | Controlo | 0 | 1,87 \pm 0,43a | 2,36 \pm 0,31b | 32,83 \pm 0,89ab | 13,67 \pm 1,56a | 3,88 \pm 0,27a | 31,36 \pm 0,67a | 15,90 \pm 1,19a | 2,35 \pm 0,15a |
| | ZnO | 900 | 2,02 \pm 0,38a | 3,80 \pm 0,24ab | 33,55 \pm 1,99ab | 11,72 \pm 1,02ab | 3,35 \pm 0,34a | 30,97 \pm 1,51a | 16,61 \pm 0,81a | 2,36 \pm 0,20a |
| | | 1350 | 1,74 \pm 0,38a | 3,96 \pm 0,53ab | 33,07 \pm 1,06ab | 11,53 \pm 1,07ab | 4,16 \pm 0,15a | 29,37 \pm 0,81a | 17,91 \pm 2,33a | 2,43 \pm 0,29a |
| | ZnSO ₄ | 900 | 1,97 \pm 0,21a | 5,41 \pm 0,69a | 29,82 \pm 0,90b | 9,52 \pm 0,58ab | 4,17 \pm 0,21a | 32,80 \pm 0,64a | 18,28 \pm 1,02a | 2,79 \pm 0,16a |
| | | 1350 | 2,44 \pm 0,45a | 4,49 \pm 0,61ab | 37,62 \pm 1,81a | 7,85 \pm 0,79b | 3,26 \pm 0,25a | 30,74 \pm 2,14a | 16,06 \pm 1,05a | 2,30 \pm 0,29a |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 0,94 \pm 0,14a | 1,60 \pm 0,25b | 31,66 \pm 1,63a | 12,34 \pm 1,39a | 4,67 \pm 0,37a | 33,15 \pm 1,46a | 16,58 \pm 0,74a | 2,67 \pm 0,25a |
| | ZnO | 900 | 1,19 \pm 0,11a | 1,53 \pm 0,13b | 29,23 \pm 0,43a | 10,82 \pm 1,37a | 6,39 \pm 1,76a | 36,87 \pm 3,65a | 15,16 \pm 1,42a | 3,03 \pm 0,16a |
| | | 1350 | 0,95 \pm 0,03a | 1,29 \pm 0,29b | 32,71 \pm 3,06a | 11,14 \pm 0,83a | 4,39 \pm 0,44a | 34,04 \pm 0,37a | 16,44 \pm 2,04a | 2,73 \pm 0,31a |
| | ZnSO ₄ | 900 | 0,87 \pm 0,05a | 2,21 \pm 0,09b | 30,24 \pm 1,00a | 12,69 \pm 0,73a | 4,74 \pm 0,62a | 32,77 \pm 1,22a | 17,35 \pm 0,86a | 2,72 \pm 0,13a |
| | | 1350 | 0,78 \pm 0,11a | 4,16 \pm 0,15a | 32,70 \pm 3,10a | 12,54 \pm 1,32a | 3,71 \pm 0,26a | 31,49 \pm 2,45a | 15,41 \pm 0,59a | 2,33 \pm 0,31a |

3.2.7.5 Análise Sensorial da Uva

No segundo ano de ensaio, realizou-se um teste triangular sendo um dos métodos de teste de discriminação sensorial mais utilizado. São testes objetivos, aplicados para verificar se o painel deteta diferenças nos produtos apresentados (Choi, 2014). As provas triangulares consistem na apresentação simultânea ao provador, de duas amostras iguais e uma diferente, sendo que a amostra diferente é que deve ser identificada. A análise de resultados é baseada no número total de avaliações comparativamente ao número de avaliações corretas. Se o número de avaliações corretas for maior ou igual ao valor tabelado para o teste triangular, conclui-se que existe diferença significativa entre as amostras no nível de significância correspondente.

De acordo com a norma ISO 4120 (*cf.* **Anexo A.4**) com 12 avaliadores e para um nível de significância de 5 %, o número de respostas corretas deve ser pelo menos 8, para que se possa afirmar que as amostras apresentam diferenças entre si. Assim, a partir desta metodologia poderemos concluir que o painel de provadores identificou que as amostras biofortificadas de uva Castelão e Syrah com ZnO - 1350 g.ha⁻¹ são significativamente diferentes das respectivas amostras de uva sem biofortificação (amostras controlo) (**Tabela 3.71**).

Tabela 3.71 - Resultados obtidos após realização da prova triangular em frutos de *Vitis vinifera* L. da casta Castelão (ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹), proveniente do campo Lagameças; casta Syrah (ZnO - 1350 g.ha⁻¹) proveniente do campo Biscaia e a casta Moscatel (ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹), proveniente do campo Lau Novo. Folha de prova no **Anexo A.4**.

| Casta / Tratamento | Resposta | Provadores (n) | | | | | | | | | | | | Respostas corretas | |
|--------------------|----------|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--------------------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | (n/nt) | (%) |
| Castelão/SZn90 | Certa | | | | | x | | | | x | X | | x | 4/12 | 33 |
| | Errada | X | x | x | x | | x | X | X | | | | X | | |
| Castelão/OZn90 | Certa | X | | | x | x | x | X | | x | X | | x | 8/12 | 66 |
| | Errada | | x | x | | | | | X | | | | X | | |
| Syrah/OZn90 | Certa | X | | | x | x | x | X | X | x | X | | x | 9/12 | 75 |
| | Errada | | x | x | | | | | | | | | X | | |
| Moscatel/SZn90 | Certa | X | | | | x | x | | | x | X | | x | 6/12 | 50 |
| | Errada | | x | x | x | | | X | X | | | | X | | |
| Moscatel/OZn90 | Certa | | | | | x | | | | x | X | | | 3/12 | 25 |
| | Errada | X | x | x | x | | x | X | X | | | | X | | |

3.3 Terceiro Ano de Ensaio

3.3.1 Morfologia do Terreno

Comparativamente ao ano anterior, a localização das parcelas manteve-se, apresentando os campos as mesmas coordenadas e características (**Figura 3.38**). Embora seja de realçar, que neste ano, apenas foram alvo de pulverização foliar (**Figura 3.38**) as linhas das vinhas correspondentes às concentrações mais elevadas de cada tipo de tratamento (ZnO e ZnSO₄ com uma concentração de 1350 g.ha⁻¹).

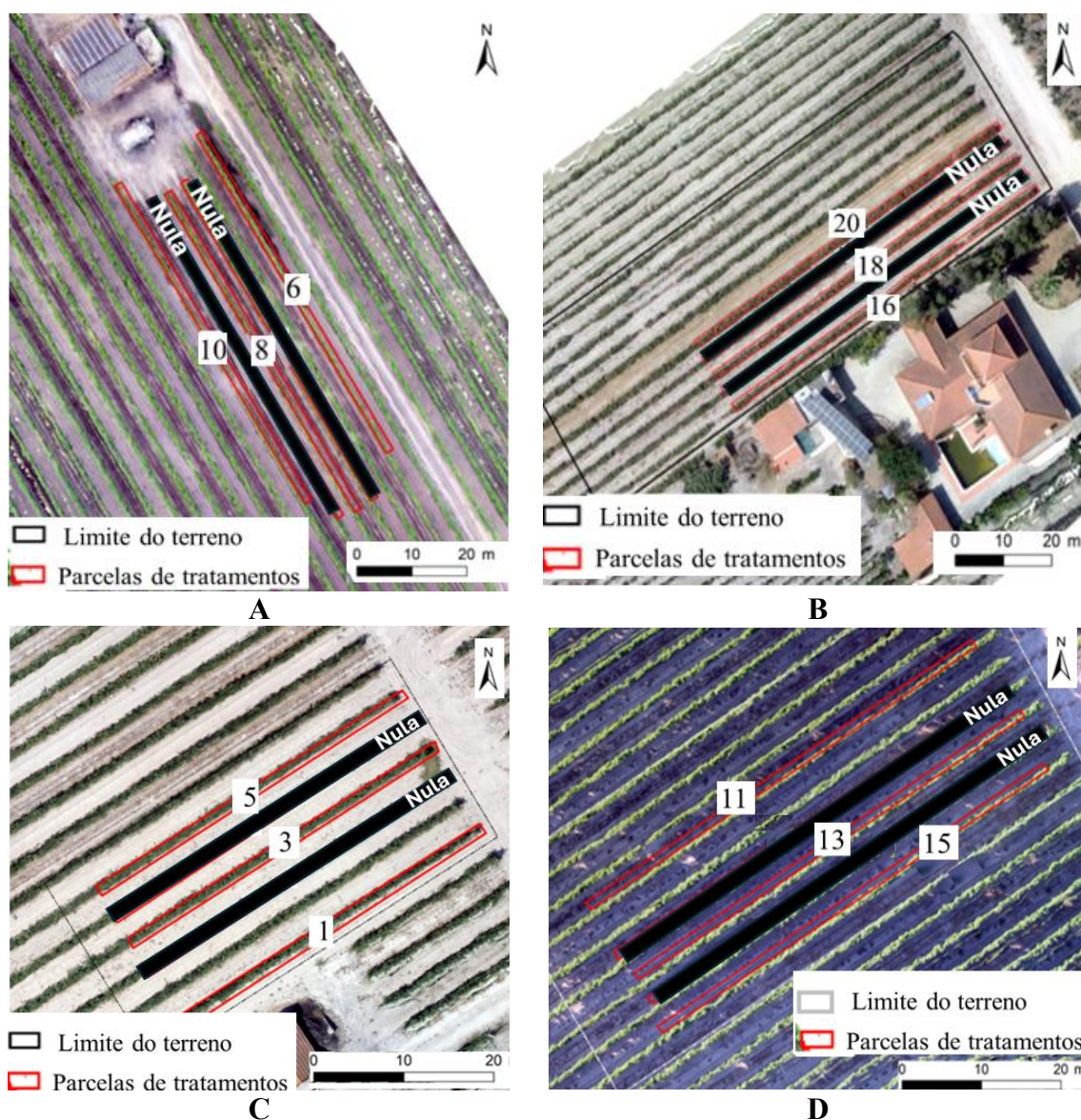


Figura 3.38 - Ortofotomapas com a localização dos quatro campos no terceiro ano e respectivas linhas de ensaio. **A**- Campo Biscaia (casta Syrah), linha 6- controle, linha 8- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 10- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹ ; **B**- Campo Lagameças (casta Castelão), linha 20- controle, linha 16- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹ e linha 18- ZnO – 1350 g.ha⁻¹; **C**- Campo Lau Novo (casta Moscatel), linha 1- controle, linha 5- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 3- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹; **D**- Campo Lau Velho (casta Fernão Pires), linha 11- controle, linha 13- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 15- ZnSO₄— 1350 g.ha⁻¹

3.3.2 Água de Irrigação

No terceiro ano de ensaio foram realizadas amostragens à água de irrigação do campo experimental Biscaia. Esta foi analisada quanto aos parâmetros físicos e químicos (**Tabela 3.72**). Foi realizada a sua classificação iónica em termos de iões dominantes, segundo a metodologia proposta por Piper

(Figura 3.39- A) e classificada a sua adequação para uso agrícola segundo a projeção de Wilcox (Figura 3.42- B), que considera o índice SAR e a condutividade elétrica da água.

A água de irrigação à vinha é de fácies hidroquímica cloretada sódica e pertence à classe C1S1 (Figura 3.39), apresentando salinidade intermédia (condutividade elétrica entre 100 e 250 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 20 °C) e baixo teor de sódio (índice SAR igual a 1,4). O índice de Langelier (ISL) calculado foi de -3,3, classificando-se a água como muito corrosiva, tendo uma ação efetiva de dissolução do carbonato de cálcio, situando-se o pH de saturação em 6,2 (Tabela 3.72).

Tabela 3.72 - Parâmetros físicos e químicos da água de irrigação do campo experimental Biscaia, obtido na recolha do terceiro ano de ensaio (14 de setembro).

| Parâmetro | Água de irrigação da Biscaia |
|------------------------|------------------------------------------------------------------|
| CE | 160 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 20 °C |
| pH | 6,2 |
| | $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) |
| Ca^{2+} | 8,9 (0,5) |
| Mg^{2+} | 2,7 (0,2) |
| Na^{+} | 18,5 (0,8) |
| K^{+} | 3,2 (0,1) |
| HCO_3^{-} | 20,7 (0,4) |
| Cl^{-} | 58,0 (1,6) |
| SO_4^{2-} | 16,3 (0,3) |
| Classificação de Piper | Cloretada sódica |
| Índice SAR | 1,4 |
| pHs | 9,5 a 20 °C |
| ISL | -3,3 a 20 °C |

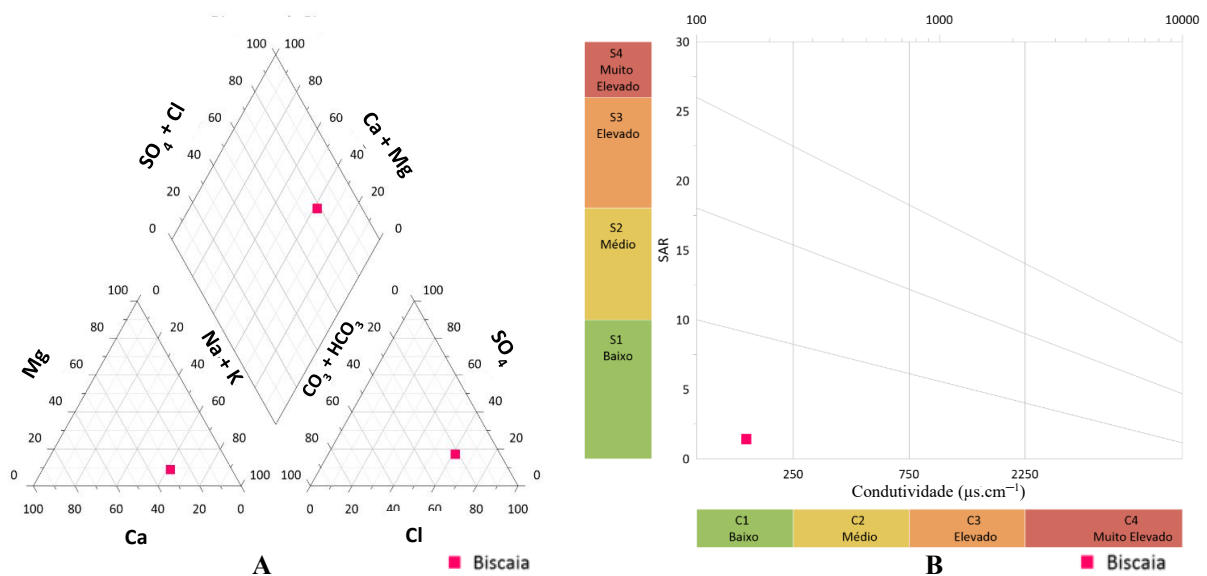


Figura 3.39 - Projeção da composição da água em termos dos iões dominantes da água de irrigação do campo Biscaia, no terceiro ano de ensaio (14 de setembro). Diagrama de Piper (A) e Diagrama de Wilcox (B). obtidos com o *Golden software* .

3.3.3 Condicionantes Meteorológicas e Fitossanidade

No terceiro ano de ensaio (**Figura 3.40**), à semelhança dos anos anteriores, recolheram-se dados das condições meteorológicas, com dados diários entre janeiro e dezembro. O período de ensaio experimental dos quatro campos, decorreu entre 6 de junho (data da primeira pulverização) e 16 de setembro (data da última colheita).

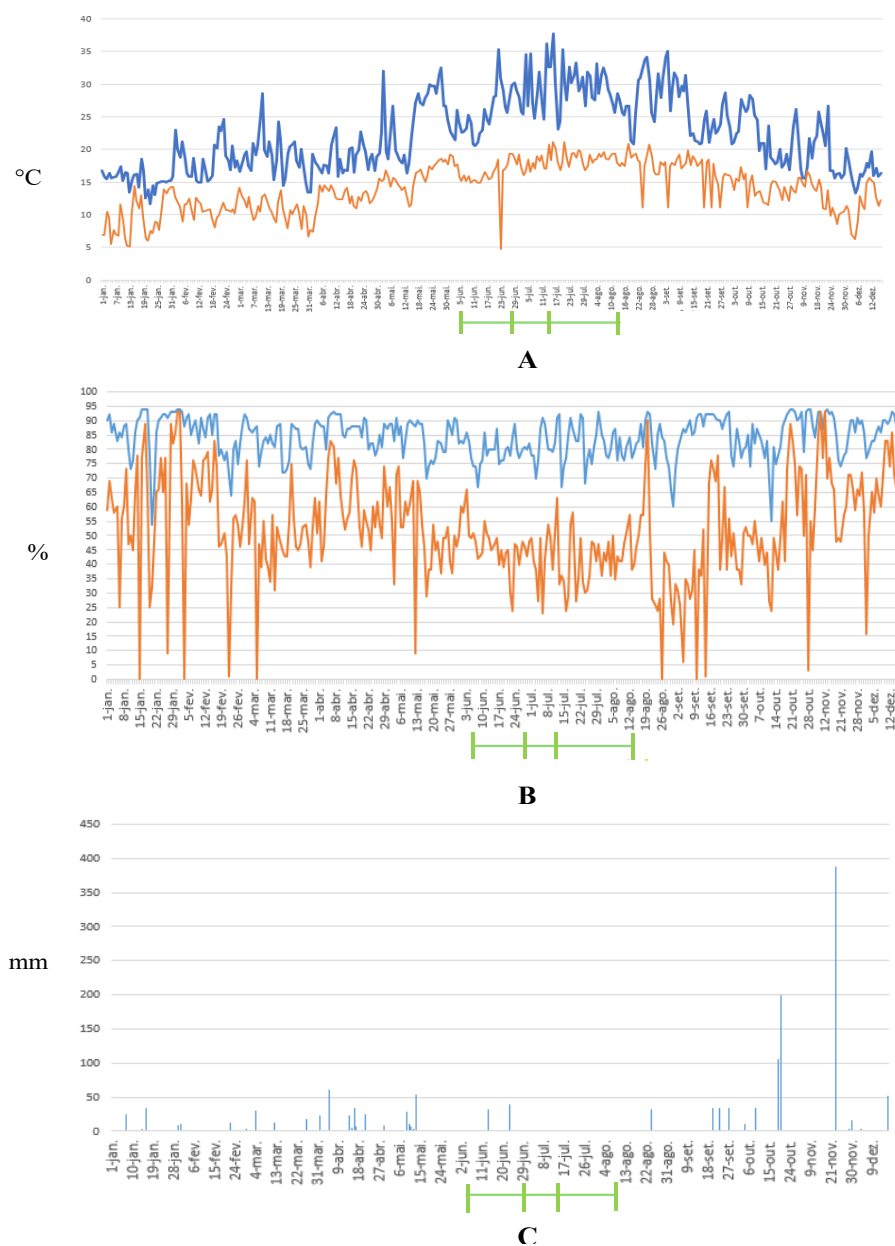


Figura 3.40 - Temperatura, humidade e precipitação acumulada na região dos campos experimentais ao longo do primeiro ano de ensaio. (A) Temperatura máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (B) Humidade máxima (azul) e mínima (laranja) diária; (C) Precipitação acumulada diária. O período de tempo discriminado a verde corresponde aos dias de pulverização foliar dos quatro campos experimentais.

Este ano foi caracterizado por uma temperatura média máxima e mínima de 28 °C e 18 °C, respetivamente (onde se registou valores mínimos e máximos de 4,8 °C e 38 °C) (**Figura 3.40**). A humidade máxima e mínima do ar registada no período experimental foi de 94 % e 19 %, respetivamente (sendo a média dos valores máximos de 81,8 % e a média dos valores mínimos de 40,9 %) (**Figura 3.40**). No período experimental, a precipitação total acumulada foi de 180,1 mm (com um máximo diário de 45,2 mm), a que corresponde a uma média diária de 1,75 mm (**Figura 3.40**).

Ao longo do ciclo de cultura da vinha aplicaram-se diversos produtos fitofarmacêuticos para controlo e prevenção de pragas e doenças, a par de fertilizantes nas diferentes modalidades dos campos experimentais Lau Novo, Lau Velho e Biscaia (*cf. Anexo A.1*) e Lagameças (*cf. Anexo A.1*). As pragas e doenças que ocorreram nos três campos experimentais foram semelhantes.

Foram realizadas recolhas nas quatro castas em diferentes fases de desenvolvimento e número de pulverizações foliares, nomeadamente com 0 pulverizações, 1 pulverização, 2 pulverizações, 3 pulverizações e à colheita. Apresentam-se alguns aspetos visuais observados durante as fases mencionadas (**Figura 3.41, 3.42**).

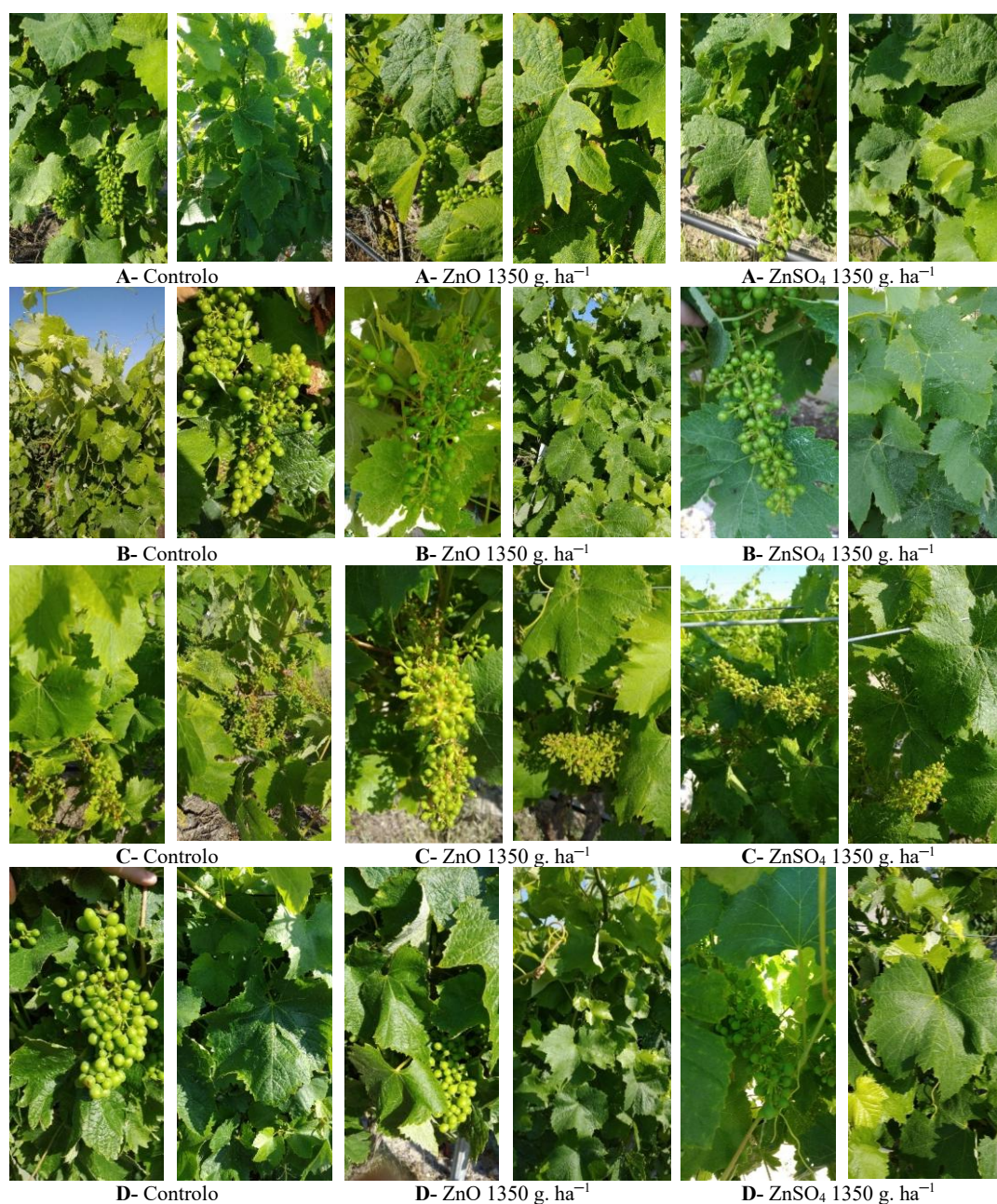


Figura 3.41 - Visualização de alguns aspetos do ciclo produtivo das vinhas dos quatro campos experimentais a 26 de maio, sem nenhuma pulverização foliar dos fertilizantes de ZnO e ZnSO₄. A- Casta Syrah (campo Biscaia); B- Casta Castelão (campo Lagameças); C- Casta Moscatel (campo Lau Novo); D- Casta Fernão Pires (campo Lau Velho).

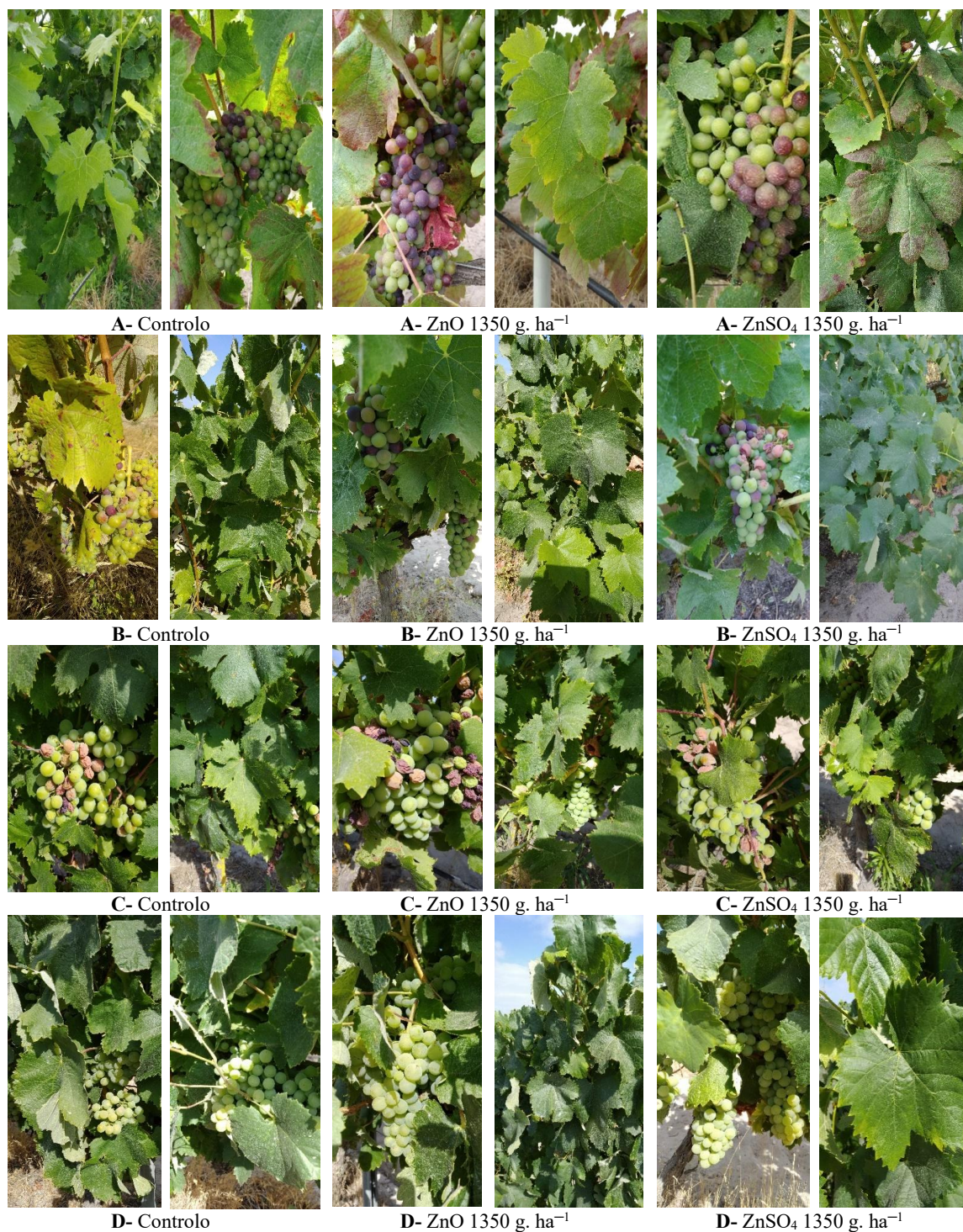


Figura 3.42 - Visualização de alguns aspetos do ciclo produtivo das vinhas dos quatro campos experimentais a 26 de maio, após a 2^a pulverização foliar dos fertilizantes de ZnO e ZnSO₄. A- Casta Syrah (campo Biscaia); B- Casta Castelão (campo Lagameças); C- Casta Moscatel (campo Lau Novo); D- Casta Fernão Pires (campo Lau Velho).

3.3.4 Parâmetros Fotossintéticos – Trocas Gasosas Foliare e Parâmetros de Clorofila *a*

No terceiro ano de ensaio (**Tabela 3.73**), realizaram-se as análises de trocas gasosas foliares, tendo-se observado, na casta Syrah, para o parâmetro P_n , diferenças significativas apenas na primeira data avaliada (após a 2ª pulverização foliar), com a amostra com $ZnSO_4$ - 1350 g.ha⁻¹ a apresentar o valor mais elevado.

Tabela 3.73 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) sujeito a irrigação após a 2ª e 4ª pulverização foliar (1ª e 2ª datas respetivamente), com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 30 junho | 19 agosto |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------|---------------------|
| P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 13,0 \pm 0,4 bA | 9,1 \pm 0,7 abB |
| ZnO | 1350 | 12,0 \pm 0,5 bA | 7,2 \pm 0,8 bB |
| $ZnSO_4$ | | 16,4 \pm 0,2 aA | 11,0 \pm 0,7 aB |
| g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 191,3 \pm 9,1 aA | 226,2 \pm 17,8 aA |
| ZnO | 1350 | 206,4 \pm 14,9 aA | 163,7 \pm 27,1 aA |
| $ZnSO_4$ | | 251,6 \pm 10,7 aA | 219,5 \pm 20,6 aA |
| E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 3,48 \pm 0,14 aB | 5,39 \pm 0,30 aA |
| ZnO | 1350 | 3,91 \pm 0,10 aA | 4,27 \pm 0,49 aA |
| $ZnSO_4$ | | 4,79 \pm 0,11 aA | 5,21 \pm 0,32 aA |
| $iWUE$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) | | | |
| Controlo | 0 | 3,91 \pm 0,17 aA | 1,67 \pm 0,09 bB |
| ZnO | 1350 | 2,64 \pm 0,11 bA | 1,67 \pm 0,04 bB |
| $ZnSO_4$ | | 3,55 \pm 0,02 aA | 2,11 \pm 0,05 aB |

Já na segunda data (após a 4ª pulverização foliar), apesar de não se observarem diferenças relevantes, o valor mais alto persistiu na amostra com $ZnSO_4$ - 1350 g.ha⁻¹ (**Tabela 3.73**). De igual modo, no parâmetro g_s (**Tabela 3.73**), observaram-se valores mais elevados na amostra com $ZnSO_4$ - 1350 g.ha⁻¹ (embora não sendo significativo face ao controlo). O parâmetro E (**Tabela 3.73**), revelou valores superiores nas folhas sujeitas à pulverização com ZnO e $ZnSO_4$ na primeira data, mas na segunda data os valores foram inferiores (e sem variações relevantes). Relativamente ao parâmetro $iWUE$ (**Tabela 3.73**), na primeira data, o controlo e a amostra com $ZnSO_4$ - 1350 g.ha⁻¹ apresentaram valores significativamente superiores. Porém, na segunda data avaliada (após a 4ª pulverização foliar), a amostra com $ZnSO_4$ - 1350 g.ha⁻¹ destacou-se com um valor significativamente superior ao controlo e às amostras com o ZnO (**Tabela 3.73**).

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.73**), o parâmetro g_s não apresentou diferenças significativas. Relativamente aos parâmetros P_n e $iWUE$ (**Tabela 3.73**), da primeira para a segunda data, todos os valores decresceram significativamente. No parâmetro E (**Tabela 3.73**), o único a apresentar diferenças significativas foi o controlo, com um aumento da primeira para a segunda data avaliada.

Na casta Castelão (**Tabela 3.74**), as trocas gasosas foliares após a 2ª (30 de Junho) e 4ª pulverização foliar (19 de Agosto), revelaram um decréscimo significativo de P_n em ambas as datas, com a aplicação de ZnO e ZnSO₄ (sendo que na primeira data não foi significativo com o ZnO). Complementarmente (**Tabela 3.74**), os valores de g_s em ambas as datas, eram significativamente superiores no controlo face às amostras com ZnO e ZnSO₄ (não sendo significativo entre o controlo e a amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ na segunda data). Relativamente ao parâmetro E (**Tabela 3.74**), apenas na segunda data ocorreram variações relevantes, com o controlo a ser significativamente superior às amostras com ZnO e ZnSO₄ (só sendo significativo no caso do ZnO - 1350 g.ha⁻¹). Já o parâmetro $iWUE$ (**Tabela 3.74**), apresentou diferenças significativas entre a amostra com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ (com um valor superior) e o controlo e o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹.

Tabela 3.74 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) após a 2ª e 4ª pulverização foliar (1ª e 2ª datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 30 junho | 19 agosto |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------|----------------------|
| P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 15,5 \pm 0,6 aA | 11,4 \pm 0,7 aB |
| ZnO | 1350 | 13,7 \pm 0,3 abA | 7,6 \pm 0,2 bB |
| ZnSO ₄ | | 13,1 \pm 0,8 bA | 8,4 \pm 0,8 bB |
| g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 307,9 \pm 35,2 aA | 212,0 \pm 7,8 aB |
| ZnO | 1350 | 152,4 \pm 4,7 bA | 98,8 \pm 4,9 bA |
| ZnSO ₄ | | 150,7 \pm 17,0 bA | 141,3 \pm 19,9 abA |
| E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 6,33 \pm 0,33 aA | 6,33 \pm 0,55 aA |
| ZnO | 1350 | 4,73 \pm 0,08 aA | 4,00 \pm 0,16 bA |
| ZnSO ₄ | | 4,62 \pm 0,29 aA | 5,12 \pm 0,56 abA |
| $iWUE$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) | | | |
| Controlo | 0 | 2,44 \pm 0,06 bA | 1,85 \pm 0,06 abB |
| ZnO | 1350 | 2,85 \pm 0,05 aA | 1,91 \pm 0,02 aB |
| ZnSO ₄ | | 2,20 \pm 0,06 bA | 1,70 \pm 0,06 bB |

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.74**), os parâmetros P_n e $iWUE$ decresceram significativamente da primeira para a segunda data. No parâmetro g_s (**Tabela 3.74**), entre as datas avaliadas, só o

controlo apresentou um decréscimo significativo. Relativamente ao parâmetro E (**Tabela 3.74**) não foram encontradas diferenças significativas entre datas.

Na casta branca Moscatel (**Tabela 3.75**), as trocas gasosas foliares, após a 2^a (30 de Junho) e 4^a pulverizações foliares (19 de Agosto), no parâmetro P_n , g_s e E, não revelaram qualquer impacto significativo. Porém no parâmetro $iWUE$ (**Tabela 3.75**), verificaram-se variações significativas na primeira data, entre o controlo e a amostra com $ZnSO_4$ - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ (sendo que foi transitório pois na segunda data não ocorreram diferenças relevantes).

Entre as datas (**Tabela 3.75**), apenas não ocorreram diferenças significativas no parâmetro g_s . Já nos parâmetros P_n e $iWUE$ (**Tabela 3.75**), verificou-se um decréscimo significativo generalizado (exceto no controlo do parâmetro P_n). No parâmetro E (**Tabela 3.75**), o oposto foi observado com um aumento significativo em todas as amostras.

Tabela 3.75 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $iWUE$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação, após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) | | 30 junho | 19 agosto |
|--------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| | | P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 16,3 \pm 0,5 aA | 14,4 \pm 0,3 aA |
| ZnO | 1350 | 17,6 \pm 0,4 aA | 13,9 \pm 0,8 aB |
| $ZnSO_4$ | | 16,0 \pm 0,6 aA | 13,4 \pm 0,4 aB |
| | | g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 177,9 \pm 10,7 aA | 234,4 \pm 7,4 aA |
| ZnO | 1350 | 215,1 \pm 6,3 aA | 244,0 \pm 17,2 aA |
| $ZnSO_4$ | | 208,6 \pm 25,6 aA | 246,3 \pm 12,4 aA |
| | | E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | |
| Controlo | 0 | 4,71 \pm 0,16 aB | 7,17 \pm 0,13 aA |
| ZnO | 1350 | 5,43 \pm 0,06 aB | 7,07 \pm 0,32 aA |
| $ZnSO_4$ | | 5,11 \pm 0,31 aB | 7,16 \pm 0,22 aA |
| | | $iWUE$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) | |
| Controlo | 0 | 3,17 \pm 0,03 aA | 2,00 \pm 0,01 aB |
| ZnO | 1350 | 3,05 \pm 0,05 aA | 1,97 \pm 0,05 aB |
| $ZnSO_4$ | | 2,77 \pm 0,03 bA | 1,87 \pm 0,02 aB |

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.76**), as trocas gasosas foliares após a 2^a e 4^a pulverização foliar, relativamente aos valores do parâmetro P_n revelaram a ausência de qualquer impacto significativo. Similarmemente, em ambas as datas avaliadas, no parâmetro g_s (**Tabela 3.76**) não se observaram variações significativas (ainda que com valores inferiores com o ZnO e $ZnSO_4$). No parâmetro E (**Tabela 3.76**), em ambas as datas avaliadas, observou-se um valor significativamente mais elevado no controlo face

ao tratamento ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$. Já o parâmetro $i\text{WUE}$ (**Tabela 3.76**) apresentou, em ambas as datas, variações relevantes, sendo que na primeira data os valores das amostras com ZnO e ZnSO_4 eram significativamente superiores, enquanto que na segunda data se observou a mesma tendência, mas só na amostra com ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ (sendo significativamente superior).

Entre as datas avaliadas (**Tabela 3.76**), os parâmetros P_n , $i\text{WUE}$ e g_s apresentaram um decréscimo significativo (exceto na amostra com o ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, no caso do g_s). Já no parâmetro E (**Tabela 3.76**), não se verificaram alterações significativas.

Tabela 3.76 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de trocas gasosas foliares (P_n , g_s , E e $i\text{WUE}$), em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 2ª e 4ª pulverização foliar (1ª e 2ª datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO_4 com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) | | 30 junho | 19 agosto |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------|---------------------|
| P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 16,3 \pm 0,4 aA | 11,5 \pm 0,2 aB |
| ZnO | 1350 | 16,7 \pm 0,8 aA | 9,7 \pm 0,5 aB |
| ZnSO ₄ | | 15,4 \pm 0,6 aA | 10,6 \pm 0,7 aB |
| g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 236,8 \pm 4,8 aA | 196,8 \pm 3,9 aB |
| ZnO | 1350 | 227,4 \pm 7,0 aA | 153,3 \pm 8,9 aB |
| ZnSO ₄ | | 191,3 \pm 19,5 aA | 165,6 \pm 8,8 aA |
| E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) | | | |
| Controlo | 0 | 5,39 \pm 0,06 aA | 5,79 \pm 0,10 aA |
| ZnO | 1350 | 4,68 \pm 0,09 abA | 4,63 \pm 0,19 abA |
| ZnSO ₄ | | 4,43 \pm 0,23 bA | 4,55 \pm 0,17 bA |
| $i\text{WUE}$ ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) | | | |
| Controlo | 0 | 3,09 \pm 0,05 bA | 1,99 \pm 0,06 bB |
| ZnO | 1350 | 3,68 \pm 0,09 aA | 2,10 \pm 0,08 abB |
| ZnSO ₄ | | 3,54 \pm 0,09 aA | 2,33 \pm 0,13 aB |

Ao nível dos parâmetros de fluorescência da clorofila a (**Tabela 3.77**), na casta Syrah não se observaram diferenças significativas em nenhum dos parâmetros analisados (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L). No entanto (**Tabela 3.77**), verificaram-se em ambos os parâmetros F_v/F_m e F_v'/F_m' , valores superiores na amostra com ZnO - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$. No parâmetro $Y_{(II)}$ (**Tabela 3.77**) os fertilizantes ZnO e ZnSO_4 , na concentração de $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, levaram a valores superiores face ao controlo. O parâmetro $Y_{(NPQ)}$ e q_N (**Tabela 3.77**), apesar de se verificar em ambas as datas uma tendência para valores inferiores com a aplicação de ZnO e ZnSO_4 (exceto na amostra com ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ na segunda data), não foram observadas variações relevantes. Por oposição (**Tabela 3.77**), no $Y_{(NO)}$, em ambas as datas, observou-se uma tendência para valores superiores com a pulverização de ZnO e ZnSO_4 (exceto

na amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ na segunda data). Já o parâmetro q_L (Tabela 3.77), na primeira data, demonstrou um valor mais elevado no controlo, mas na segunda data a amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ apresentou o valor mais alto.

Entre as datas avaliadas (Tabela 3.77), não ocorreram diferenças significativas nos parâmetros F_v'/F_m', Y_(II) e q_L. Porém nos parâmetros Y_(NPQ) e q_N (Tabela 3.77), ocorreu um decréscimo significativo da primeira para a segunda data (exceto no parâmetro q_N com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹). No entanto no parâmetro Y_(NO) (Tabela 3.77), ocorreram diferenças significativas entre o controlo e a amostra com ZnO - 1350 g.ha⁻¹, observando-se um aumento da primeira para a segunda data avaliada.

Tabela 3.77 - Valores médios ± erro padrão dos parâmetros de clorofila *a* (F_v/F_m, F_v'/F_m', Y_(II), Y_(NPQ), Y_(NO), q_N e q_L) em folhas (n = 4 – 6) da vinha do campo Biscaia (casta Syrah) sujeito a irrigação após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a - c), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B, C).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 30 junho | 19 agosto |
|--------------------------------------|------|-----------------|----------------|
| F_v/F_m | | | |
| Controlo | 0 | 0,767±0,013 abA | 0,786±0,012 aA |
| ZnO | 1350 | 0,776±0,014 aA | 0,808±0,004 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,727±0,016 bB | 0,779±0,005 aA |
| F_v'/F_m' | | | |
| Controlo | 0 | 0,403±0,030 aA | 0,512±0,032 aA |
| ZnO | 1350 | 0,469±0,032 aA | 0,552±0,016 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,421±0,035 aA | 0,493±0,016 aA |
| Y_(II) | | | |
| Controlo | 0 | 0,265±0,019 aA | 0,314±0,022 aA |
| ZnO | 1350 | 0,289±0,031 aA | 0,334±0,030 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,267±0,042 aA | 0,332±0,020 aA |
| Y_(NPQ) | | | |
| Controlo | 0 | 0,538±0,025 aA | 0,373±0,037 aB |
| ZnO | 1350 | 0,508±0,036 aA | 0,348±0,015 aB |
| ZnSO ₄ | | 0,519±0,049 aA | 0,380±0,023 aB |
| Y_(NO) | | | |
| Controlo | 0 | 0,196±0,010 aB | 0,313±0,032 aA |
| ZnO | 1350 | 0,204±0,015 aB | 0,318±0,028 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,214±0,017 aA | 0,288±0,015 aA |
| q_N | | | |
| Controlo | 0 | 0,856±0,018 aA | 0,696±0,049 aB |
| ZnO | 1350 | 0,822±0,026 aA | 0,674±0,025 aB |
| ZnSO ₄ | | 0,823±0,033 aA | 0,724±0,023 aA |
| q_L | | | |
| Controlo | 0 | 0,650±0,032 aA | 0,445±0,053 aA |
| ZnO | 1350 | 0,477±0,075 aA | 0,420±0,060 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,506±0,084 aA | 0,514±0,037 aA |

Na casta Castelão (Tabela 3.78), nos parâmetros de fluorescência de clorofila *a*, constatou-se a ausência de diferenças significativas entre as amostras em todos os parâmetros (F_v/F_m, F_v'/F_m', Y_(II),

$Y_{(NPQ)}$, q_N e q_L), exceto o $Y_{(NO)}$ na segunda data avaliada. O parâmetro $Y_{(NO)}$ (Tabela 3.78), na segunda data apresentou um valor significativamente superior no controlo face à amostra com $ZnSO_4 - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$. Embora, no parâmetro F_v/F_m (Tabela 3.78) se denote uma tendência para valores superiores nas amostras com ZnO e $ZnSO_4$ em ambas as datas. Já no parâmetro F_v'/F_m' só a amostra com $ZnSO_4 - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ na primeira data levou a um valor superior ao controlo. O parâmetro $Y_{(II)}$ (Tabela 3.78), exibiu uma tendência para valores inferiores com o ZnO e $ZnSO_4$. Nos parâmetros $Y_{(NPQ)}$ e q_N (Tabela 3.78), pelo contrário, observou-se um comportamento semelhante em ambas as datas, com valores superiores com os fertilizantes de Zn . Relativamente ao parâmetro q_L (Tabela 3.78), à exceção da amostra com $ZnSO_4 - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, na segunda data, os valores foram superiores no controlo.

Entre as datas avaliadas (Tabela 3.78), só o parâmetro $Y_{(NO)}$ apresentou um aumento significativo no controlo e na amostra com $ZnO - 1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$, da primeira para a segunda data avaliada.

Tabela 3.78 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila \underline{a} (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lagameças (casta Castelão) após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) | | 30 junho | 19 agosto |
|--------------------------------------------|------|----------------------|-----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,779 \pm 0,011 aA | 0,771 \pm 0,020 aA |
| ZnO | 1350 | 0,796 \pm 0,014 aA | 0,804 \pm 0,007 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,796 \pm 0,014 aA | 0,784 \pm 0,006 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,494 \pm 0,024 aA | 0,500 \pm 0,031 aA |
| ZnO | 1350 | 0,431 \pm 0,023 aA | 0,470 \pm 0,027 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,508 \pm 0,032 aA | 0,410 \pm 0,020 aA |
| | | $Y_{(II)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,342 \pm 0,028 aA | 0,295 \pm 0,034 aA |
| ZnO | 1350 | 0,279 \pm 0,036 aA | 0,216 \pm 0,035 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,290 \pm 0,022 aA | 0,261 \pm 0,034 aA |
| | | $Y_{(NPQ)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,448 \pm 0,035 aA | 0,371 \pm 0,050 aA |
| ZnO | 1350 | 0,524 \pm 0,037 aA | 0,473 \pm 0,052 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,493 \pm 0,033 aA | 0,488 \pm 0,040 aA |
| | | $Y_{(NO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,209 \pm 0,011 aB | 0,334 \pm 0,027 aA |
| ZnO | 1350 | 0,197 \pm 0,006 aB | 0,311 \pm 0,019 abA |
| ZnSO ₄ | | 0,216 \pm 0,022 aA | 0,251 \pm 0,009 bA |
| | | q_N | |
| Controlo | 0 | 0,793 \pm 0,028 aA | 0,683 \pm 0,050aA |
| ZnO | 1350 | 0,848 \pm 0,017 aA | 0,757 \pm 0,037aA |
| ZnSO ₄ | | 0,799 \pm 0,034 aA | 0,818 \pm 0,023aA |
| | | q_L | |
| Controlo | 0 | 0,532 \pm 0,031 aA | 0,417 \pm 0,043 aA |
| ZnO | 1350 | 0,516 \pm 0,069 aA | 0,302 \pm 0,032 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,404 \pm 0,048 aA | 0,510 \pm 0,059 aA |

Na casta Moscatel (**Tabela 3.79**), nos parâmetros de fluorescência de clorofila a , tal como na casta anterior, não se verificaram diferenças significativas (*i.e.*, F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, q_N e q_L), exceto nos parâmetros F_v/F_m e $Y_{(NO)}$. No parâmetro F_v/F_m (**Tabela 3.79**), apenas na primeira data avaliada se observou um valor significativamente superior no controlo face à amostra com $ZnSO_4$ - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$. Contudo, no parâmetro F_v'/F_m' e $Y_{(II)}$, relativamente ao controlo, os valores das amostras com ZnO e $ZnSO_4$ foram superiores (exceto no parâmetro $Y_{(II)}$ na segunda data com o ZnO - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) (**Tabela 3.79**). Os parâmetros $Y_{(NPQ)}$ e q_N (**Tabela 3.79**), apresentaram em ambas as datas, valores inferiores com o ZnO e $ZnSO_4$. Já no parâmetro $Y_{(NO)}$ (**Tabela 3.79**), relativamente ao controlo, observaram-se diferenças significativas na segunda data, na amostra com $ZnSO_4$ - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ a apresentar o valor mais alto. Relativamente ao parâmetro q_L (**Tabela 3.79**), em ambas as datas avaliadas, verificaram-se valores significativamente superiores no controlo.

Tabela 3.79 - Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila a (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Novo (casta Moscatel) sujeito a irrigação após a 2ª e 4ª pulverização foliar (1ª e 2ª datas, respetivamente) com ZnO ou $ZnSO_4$ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) | | 30 junho | 19 agosto |
|--------------------------------------------|------|-----------------------|----------------------|
| | | F_v/F_m | |
| Controlo | 0 | 0,795 \pm 0,006 aA | 0,764 \pm 0,006 aA |
| ZnO | 1350 | 0,769 \pm 0,011 abA | 0,783 \pm 0,009 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,745 \pm 0,011 bA | 0,756 \pm 0,009 aA |
| | | F_v'/F_m' | |
| Controlo | 0 | 0,438 \pm 0,026 aA | 0,459 \pm 0,028 aA |
| ZnO | 1350 | 0,499 \pm 0,029 aA | 0,466 \pm 0,030 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,486 \pm 0,035 aA | 0,501 \pm 0,028 aA |
| | | $Y_{(II)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,296 \pm 0,044 aA | 0,276 \pm 0,047 aA |
| ZnO | 1350 | 0,317 \pm 0,035 aA | 0,274 \pm 0,019 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,315 \pm 0,039 aA | 0,306 \pm 0,026 aA |
| | | $Y_{(NPQ)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,504 \pm 0,045 aA | 0,403 \pm 0,054 aA |
| ZnO | 1350 | 0,450 \pm 0,044 aA | 0,388 \pm 0,033 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,448 \pm 0,046 aA | 0,278 \pm 0,030 aA |
| | | $Y_{(NO)}$ | |
| Controlo | 0 | 0,199 \pm 0,012 aB | 0,321 \pm 0,024 bA |
| ZnO | 1350 | 0,234 \pm 0,012 aB | 0,338 \pm 0,022 bA |
| ZnSO ₄ | | 0,237 \pm 0,016 aB | 0,416 \pm 0,014 aA |
| | | q_N | |
| Controlo | 0 | 0,839 \pm 0,024 aA | 0,722 \pm 0,049 aA |
| ZnO | 1350 | 0,769 \pm 0,039 aA | 0,717 \pm 0,041 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,763 \pm 0,043 aA | 0,596 \pm 0,048 aA |
| | | q_L | |
| Controlo | 0 | 0,548 \pm 0,091 aA | 0,462 \pm 0,093 aA |
| ZnO | 1350 | 0,461 \pm 0,034 aA | 0,443 \pm 0,054 aA |
| ZnSO ₄ | | 0,484 \pm 0,050 aA | 0,440 \pm 0,038 aA |

Entre as datas avaliadas, só o parâmetro $Y_{(NO)}$ apresentou um aumento significativo da primeira para a segunda data (**Tabela 3.79**).

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.80**), nos parâmetros de fluorescência de clorofila \underline{a} , no F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, e $Y_{(NPQ)}$ não se observaram variações relevantes entre as amostras. Relativamente ao parâmetro F_v/F_m (**Tabela 3.80**), na primeira data verificaram-se diferenças entre o controlo e a amostra com ZnO - 1350 g.ha⁻¹. Ao nível do parâmetro $Y_{(NO)}$ (**Tabela 3.80**), o mesmo comportamento foi observado na primeira data, com um valor significativamente superior no controlo face à amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. No parâmetro q_N (**Tabela 3.80**), verificaram-se diferenças na segunda data, com o controlo a apresentar um valor significativamente inferior à amostra com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. Já o parâmetro q_L (**Tabela 3.80**), na primeira data, aferiu-se um valor significativamente inferior no controlo relativamente à amostra com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹.

Tabela 3.80- Valores médios \pm erro padrão dos parâmetros de clorofila \underline{a} (F_v/F_m , F_v'/F_m' , $Y_{(II)}$, $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L) em folhas ($n = 4 - 6$) da vinha do campo Lau Velho (casta Fernão Pires) após a 2^a e 4^a pulverização foliar (1^a e 2^a datas, respetivamente) com ZnO ou ZnSO₄ com diferentes concentrações. Para cada parâmetro, as letras diferentes indicam a existência de diferenças significativas entre as amostras na mesma data (a, b), ou entre as datas para a mesma amostra e fertilizante aplicado (A, B).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | 30 junho | | 19 agosto | |
|--------------------------------|------|-----------------------------------|-----|-------------|-----|
| | | F _v /F _m | | | |
| Controlo | 0 | 0,821±0,007 | aA | 0,790±0,008 | aA |
| ZnO | 1350 | 0,774±0,009 | bA | 0,772±0,014 | aA |
| ZnSO ₄ | | 0,804±0,010 | abA | 0,797±0,008 | aA |
| | | F _v '/F _m ' | | | |
| Controlo | 0 | 0,522±0,038 | aA | 0,590±0,043 | aA |
| ZnO | 1350 | 0,429±0,015 | aA | 0,527±0,030 | aA |
| ZnSO ₄ | | 0,466±0,022 | aA | 0,522±0,016 | aA |
| | | Y _(II) | | | |
| Controlo | 0 | 0,303±0,027 | aA | 0,347±0,052 | aA |
| ZnO | 1350 | 0,315±0,025 | aA | 0,294±0,024 | aA |
| ZnSO ₄ | | 0,287±0,013 | aA | 0,382±0,021 | aA |
| | | Y _(NPQ) | | | |
| Controlo | 0 | 0,474±0,043 | aA | 0,253±0,079 | aB |
| ZnO | 1350 | 0,515±0,018 | aA | 0,356±0,038 | aA |
| ZnSO ₄ | | 0,510±0,017 | aA | 0,347±0,025 | aA |
| | | Y _(NO) | | | |
| Controlo | 0 | 0,223±0,020 | aB | 0,400±0,034 | aA |
| ZnO | 1350 | 0,170±0,011 | aB | 0,350±0,038 | abA |
| ZnSO ₄ | | 0,203±0,013 | aA | 0,271±0,007 | bA |
| | | q _N | | | |
| Controlo | 0 | 0,785±0,043 | aA | 0,509±0,081 | bB |
| ZnO | 1350 | 0,862±0,010 | aA | 0,655±0,058 | abB |
| ZnSO ₄ | | 0,833±0,018 | aA | 0,710±0,023 | aA |
| | | q _L | | | |
| Controlo | 0 | 0,397±0,026 | bA | 0,357±0,040 | aA |
| ZnO | 1350 | 0,631±0,093 | aA | 0,384±0,053 | aB |
| ZnSO ₄ | | 0,468±0,045 | abA | 0,567±0,028 | aA |

Entre as datas (**Tabela 3.80**), observaram-se diferenças nos parâmetros $Y_{(NPQ)}$, $Y_{(NO)}$, q_N e q_L . Os parâmetros $Y_{(NPQ)}$ e q_N (**Tabela 3.80**), revelaram um decréscimo significativo no controlo, entre a primeira e a segunda data, sendo que os restantes se mantiveram sem alterações relevantes. No parâmetro $Y_{(NO)}$ (**Tabela 3.80**), realçou-se entre a primeira e segunda data, um aumento significativo no controlo e na amostra com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹. Já no parâmetro q_L (**Tabela 3.80**), entre datas, só a amostra com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ revelou um decréscimo significativo.

3.3.5 NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Como referido no subcapítulo 3.2.5, vários autores (Candiago et al.,2015) utilizam a cor verde para ilustrar a vegetação densa e viçosa, com valores NDVI próximos de 1, a cor verde claro a amarelo para representar valores próximo de zero, equivalentes a vegetação seca e/ou solo e os valores negativos exibidos na tonalidade laranja, correspondentes a áreas construídas e corpos de água. Em conformidade com o segundo ano, os valores mais elevados de NDVI estão representados com a cor verde, enquanto que os valores mais baixos com o vermelho. No último ano de ensaio, obteve-se o NDVI após a 1ª pulverização foliar (Figura 3.43).

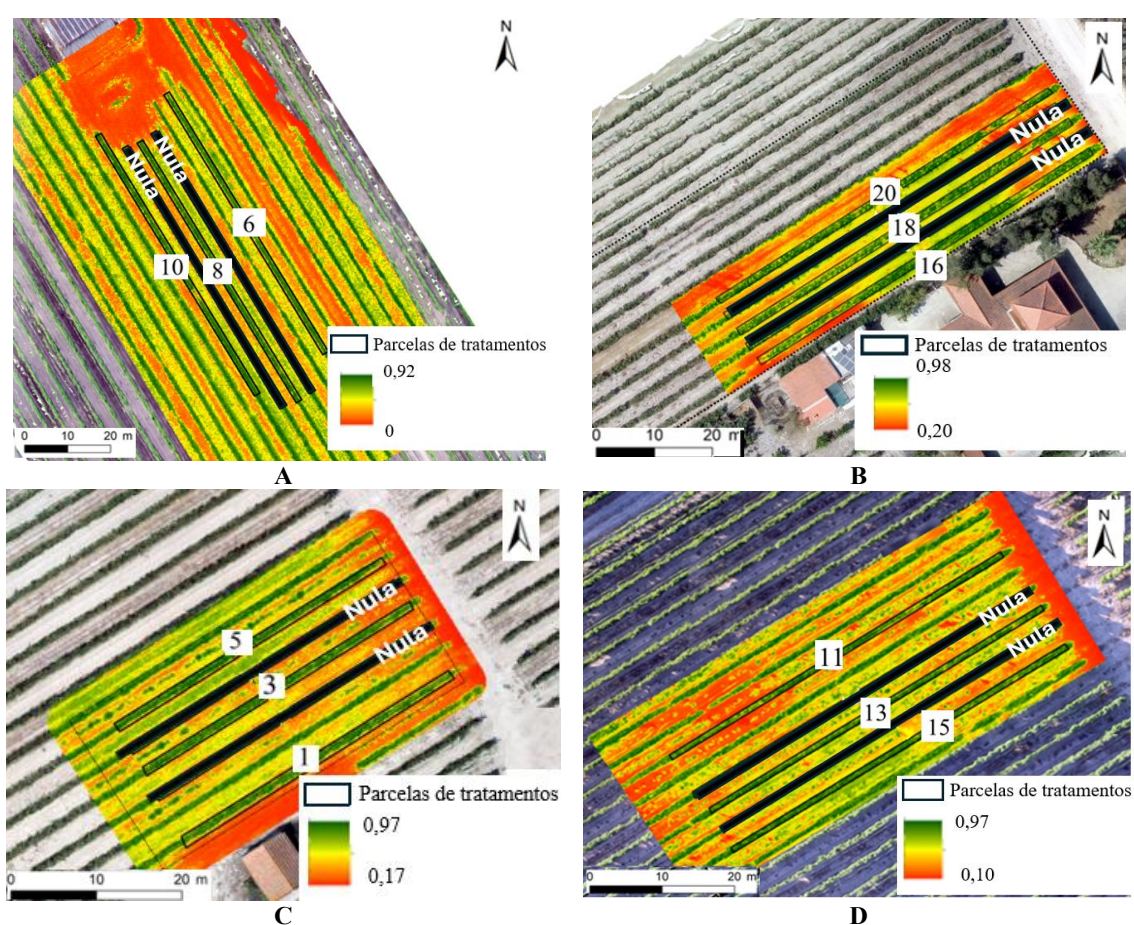


Figura 3.43 - Mapas de NDVI dos quatro campos experimentais no terceiro ano de ensaio, após a 1ª pulverização (17 de junho) e respetivas linhas de ensaio. A- Campo Biscaia (casta Syrah), linha 6- controlo, linha 8- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 10- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹ ; B- Campo Lagameças (casta Castelão), linha 20- controlo, linha 18- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 16- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹; C- Campo Lau Novo (casta Moscatel), linha 1- controlo, linha 5- ZnO – 1350 g.ha⁻¹ e linha 3- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹; D- Campo Lau Velho (casta Fernão Pires), linha 11- controlo, linha 13- ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e linha 15- ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹.

Considerando os índices de NDVI obtidos após a 1ª pulverização foliar (Figura 3.43, 3.44), verificou-se, na casta Syrah, uma resposta positiva com valores de NDVI médio/elevado (> 0,6) e ligeiramente superiores à parcela do controlo. Face à casta referida, as restantes (Moscatel, Castelão e Fernão Pires) apresentaram um valor de NDVI médio/elevado (> 0,8), revelando também uma resposta positiva à 1ª pulverização com ZnO ou ZnSO₄. As castas brancas, Moscatel e Fernão Pires (Figura 3.43, 3.44) adicionalmente apresentaram valores superiores nas parcelas sujeitas às pulverizações com os fertilizantes de Zn. Já a casta Castelão (Figura 3.43, 3.44), apresentou um NDVI superior no controlo e na fileira com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. De modo geral (Figura 3.43, 3.44), em todas as castas constatou-se uma tendência para valores superiores na parcela com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. De modo geral, os valores de NDVI foram bastante similares não apresentando variações relevantes após aplicação dos fertilizantes de Zn.

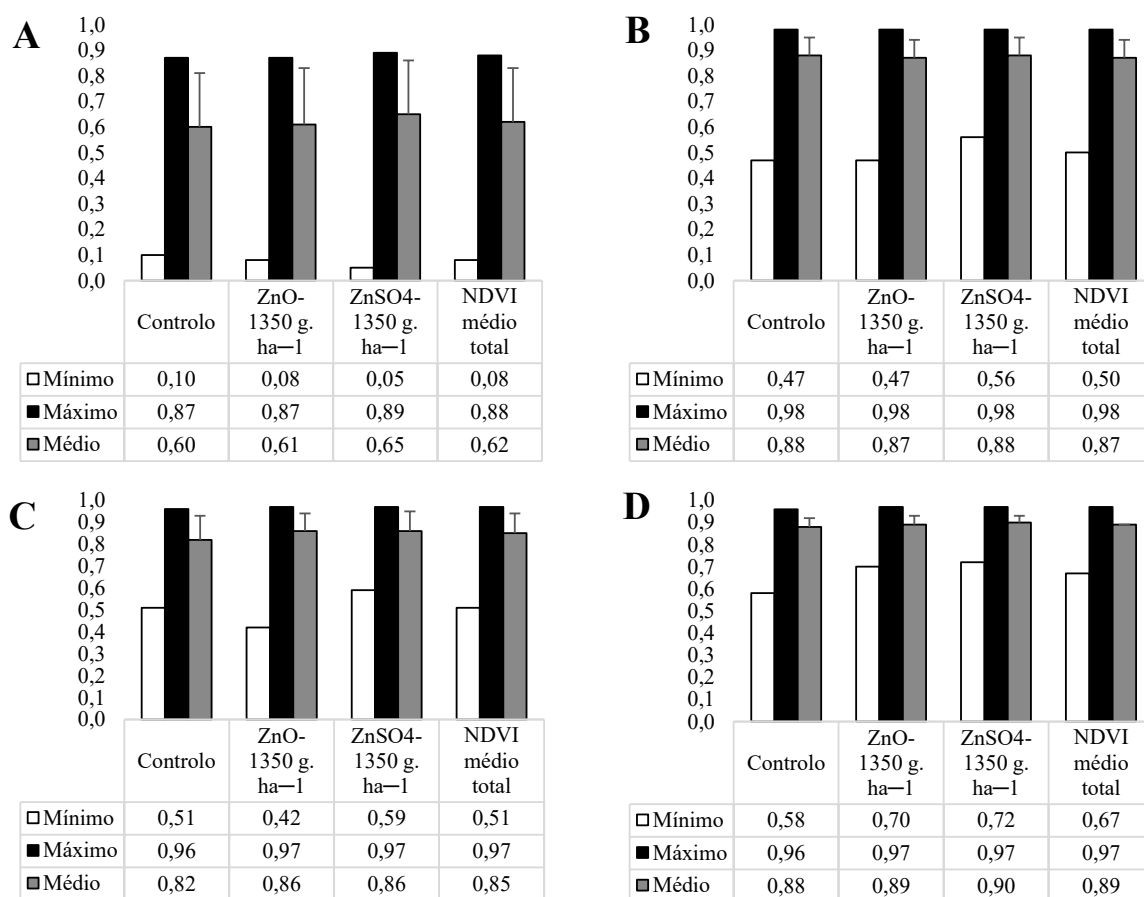


Figura 3.44 - Valores de NDVI mínimos, máximos e médios com o desvio padrão das vinhas dos quatro campos experimentais e respetivas linhas de ensaio, após a 4ª pulverização foliar. (A) Syrah; (B) Castelão; (C) Moscatel e (D) Fernão Pires.

3.3.6 Quantificação de Elementos Minerais nas Folhas e Frutos

No terceiro ano de ensaio realizou-se uma recolha de folhas e frutos a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar).

3.3.6.1 Folhas

Nas folhas da casta Syrah (campo Biscaia) (**Tabela 3.81**), verificaram-se teores de Zn entre 90,18 – 469,68 mg.kg⁻¹, sendo significativamente superiores nas folhas sujeitas aos tratamentos ZnO e ZnSO₄-1350 g.ha⁻¹ (tendo o ZnO revelado um maior aumento).

Relativamente aos restantes elementos minerais (**Tabela 3.81**), foi possível observar valores significativamente superiores de P e S para as amostras, com ambos os fertilizantes, face ao controlo. Os elementos Ca e o K (**Tabela 3.81**), apresentaram valores significativamente mais elevados na amostra com ZnSO₄- 1350 g.ha⁻¹, e mais baixos com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹, sendo o controlo significativamente diferente das restantes amostras.

Tabela 3.81 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 90,18±0,93c | n.d. | 3,70±0,01b | 2,23±0,01b | 0,41±0,00b | 0,10±0,00c |
| ZnO | 1350 | 469,68±2,17a | n.d. | 3,61±0,01c | 2,04±0,00c | 0,47±0,00a | 0,18±0,00a |
| ZnSO ₄ | | 244,77±2,7b | 46,06±6,90 | 4,21±0,01a | 2,45±0,00a | 0,48±0,00a | 0,12±0,00b |

*n.d. não detetável

Nas folhas da casta Castelão também se efetuou uma recolha (**Tabela 3.82**), tendo-se verificado teores de Zn entre 64,86 – 393,65 mg.kg⁻¹, apresentando o controlo um valor significativamente mais baixo, face às amostras com ZnO e ZnSO₄ (tal como na casta anterior com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ apresentando um valor superior).

Considerando o P (**Tabela 3.82**), ambos os fertilizantes de Zn levaram a valores mais altos e significativamente superiores ao controlo. Os níveis de Fe (**Tabela 3.82**) apenas foram detetados no controlo e nas folhas sujeitas ao ZnO - 1350 g.ha⁻¹, indicando teores inferiores na amostra com o ZnSO₄-1350 g.ha⁻¹. Os elementos minerais Ca e S (**Tabela 3.82**), apresentaram concentrações significativamente mais baixas no controlo face às outras amostras. Já o elemento K (**Tabela 3.82**), apresentou teores

significativamente mais elevados com o ZnO e mais baixos nas amostras com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ relativamente ao controlo.

Tabela 3.82 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - e indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 64,86±1,39c | 87,65±4,93 | 2,94±0,00c | 2,65±0,02b | 0,43±0,00c | 0,11±0,00b |
| ZnO | 1350 | 393,65±1,32a | 76,69±1,47 | 3,78±0,01a | 3,45±0,01a | 0,49±0,00b | 0,14±0,00a |
| ZnSO ₄ | | 170,38±1,14b | n.d. | 3,13±0,01b | 2,53±0,01c | 0,52±0,00a | 0,15±0,00a |

*n.d. não detetável

Nas folhas da casta Moscatel (**Tabela 3.83**), após a 2ª pulverização foliar, o Zn apresentou valores oscilando entre 102,71 - 478,57 mg.kg⁻¹, com o controlo a apresentar um valor significativamente mais baixo e a amostra com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ mais elevado.

Relativamente ao P (**Tabela 3.83**) foi possível aferir diferenças significativas entre o controlo e na amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, que apresentou um valor superior. Os elementos K e S (**Tabela 3.83**), apresentaram teores significativamente mais elevados com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, comparativamente ao ZnO - 1350 g.ha⁻¹, e no caso do K também superior ao controlo. Relativamente ao Ca (**Tabela 3.83**), o controlo foi significativamente diferente face aos tratamentos com Zn, apresentando uma concentração superior.

Tabela 3.83 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|------|---------------------|------|------------|------------|------------|-------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 102,71±2,52c | n.d. | 3,44±0,01a | 1,81±0,01b | 0,43±0,00a | 0,13± 0,00b |
| ZnO | 1350 | 478,57±1,41a | n.d. | 3,35±0,02b | 1,63±0,00c | 0,41±0,00b | 0,13± 0,00b |
| ZnSO ₄ | | 335,72±1,61b | n.d. | 3,36±0,01b | 2,04±0,01a | 0,44±0,00a | 0,15± 0,00a |

*n.d. não detetável

Na casta Fernão Pires, à semelhança das anteriores (**Tabela 3.84**), efetuou-se uma recolha de folhas após a 2ª pulverização foliar, tendo-se verificado, teores de Zn variando entre 109,02 - 538,29 mg.kg⁻¹. Nesta casta o valor significativamente mais elevado observou-se nas folhas sujeitas à pulverização com ZnO - 1350 g.ha⁻¹ mas, ao contrário das restantes, o valor inferior ocorreu na amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹.

Nesta casta (**Tabela 3.84**), o Fe só foi detetado nas folhas sujeitas às pulverizações com os fertilizantes de Zn. Relativamente ao P, Ca e S (**Tabela 3.84**), o controlo apresentou teores significativamente mais baixos face às restantes amostras (denotando-se valores superiores com o ZnO). Já para o K (**Tabela 3.84**) verificou-se a ausência de diferenças significativas entre o controlo e a amostra com ZnO - 1350 g.ha⁻¹, destacando-se a pulverização com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, que levou a um valor significativamente mais alto.

Tabela 3.84 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em folhas de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires, obtidas no Lau Velho, a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Ca | K | S | P |
|--------------------------------|------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | % | | | |
| Controlo | 0 | 174,36±4,06b | n.d. | 2,40±0,01c | 2,27±0,00b | 0,38±0,00c | 0,10±0,00c |
| ZnO | 1350 | 538,29±2,90a | 72,86±2,61 | 3,76±0,01a | 2,24±0,01b | 0,51±0,00a | 0,16±0,00a |
| ZnSO ₄ | | 109,02±0,78c | 40,57±2,45 | 3,27±0,01b | 2,54±0,01a | 0,45±0,00b | 0,14±0,00b |

*n.d. não detetável

3.3.6.2 Frutos

Similarmente aos anos anteriores, no terceiro ano de ensaio, ao nível dos frutos realizaram-se diferentes técnicas ao longo do ciclo produtivo nomeadamente: Espectrofluorimetria acoplada com raios-X e espectrofotometria de absorção atómica.

3.3.6.2.1 Espectrofluorimetria Acoplada com Raios-X

À semelhança do que se fez nas folhas, na recolha de frutos da casta Syrah, a 8 de julho (**Tabela 3.85**), verificou-se nos teores de Zn, um valor significativamente inferior com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹, relativamente aos restantes frutos analisados.

Tabela 3.85 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia) a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | S |
|--------------------------------|------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | |
| Controlo | 0 | 13,92 \pm 0,42a | 2,42 \pm 0,01a | 0,79 \pm 0,00a | 0,13 \pm 0,00a |
| ZnO | 1350 | 11,46 \pm 0,13b | 2,10 \pm 0,00a | 0,39 \pm 0,00c | 0,09 \pm 0,00b |
| ZnSO ₄ | | 14,45 \pm 0,23a | 2,74 \pm 0,01a | 0,48 \pm 0,00b | 0,10 \pm 0,00b |

Relativamente ao Ca (**Tabela 3.85**), o controlo apresentou teores mais elevados e significativamente diferentes, por comparação com as restantes amostras. Porém quanto aos teores de K (**Tabela 3.85**) não se observaram diferenças significativas, ainda que com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ tenha ocorrido um teor superior. Observaram-se também para o elemento S (**Tabela 3.85**), diferenças significativas entre as amostras biofortificadas comparativamente ao controlo, apresentando este, valores mais elevados.

Já na casta Castelão (**Tabela 3.86**), na mesma fase de recolha realizada para as outras castas (8 de julho após a 2ª pulverização), teores significativamente superiores de Zn evidenciaram-se na amostra com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹, face ao controlo e à amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹.

Os teores de Ca e K (**Tabela 3.86**), foram mais elevados e significativos com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, relativamente ao controlo e ao ZnO - 1350 g.ha⁻¹ (embora, no Ca, o controlo apresente um valor significativamente superior às amostras com ZnO). Relativamente ao elemento S (**Tabela 3.86**), encontraram-se face ao controlo, teores significativamente superiores nas amostras biofortificadas.

Tabela 3.86 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | S |
|--------------------------------|------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | |
| Controlo | 0 | 9,70 \pm 0,03b | 1,75 \pm 0,01c | 0,39 \pm 0,00b | 0,06 \pm 0,00b |
| ZnO | 1350 | 11,13 \pm 0,17a | 2,72 \pm 0,01b | 0,37 \pm 0,00c | 0,09 \pm 0,01a |
| ZnSO ₄ | | 5,33 \pm 0,28c | 3,04 \pm 0,01a | 0,41 \pm 0,00a | 0,10 \pm 0,01a |

Na casta Moscatel (**Tabela 3.87**), na recolha de frutos a 8 de julho, verificaram-se relativamente ao controlo, valores de Zn superiores no controlo e na amostra com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹, comparativamente ao ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ (embora não sendo significativos).

Os níveis de Ca não apresentaram uma tendência clara (**Tabela 3.87**), sendo as amostras controlo significativamente diferentes das amostras com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ e ZnO - 1350 g.ha⁻¹ (sendo superiores e inferiores respetivamente). Os teores de K (**Tabela 3.87**) com a aplicação do ZnO - 1350 g.ha⁻¹ foram inferiores ao teor do controlo. Já os níveis de S (**Tabela 3.87**) não apresentaram diferenças significativas entre as amostras.

Tabela 3.87 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), sujeita a irrigação, com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | Zn | K | Ca | S |
|--------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|
| | mg.kg ⁻¹ | % | | |
| Controlo 0 | 13,22±0,71a | 2,06±0,01a | 0,40±0,00b | 0,08±0,00a |
| ZnO 1350 | 14,01±0,72a | 1,74±0,00b | 0,35±0,00c | 0,08±0,00a |
| ZnSO ₄ 1350 | 12,29±0,31a | 2,05±0,01a | 0,43±0,00a | 0,08±0,00a |

Na recolha de frutos da casta Fernão Pires (**Tabela 3.88**), não se detetaram teores de Zn, o que possivelmente esteve relacionado com o limite de deteção (*cf.* 2.6.5.1. **Espetrofluorimetria Acoplada com Raios-X**).

Relativamente ao Ca (**Tabela 3.88**), não se observou uma tendência clara com as aplicações de Zn, sendo o controlo significativamente diferente das restantes amostras (com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ sendo superior e o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ inferior), tal como observado na casta branca Fernão Pires. Quanto aos teores de K (**Tabela 3.88**), o controlo apresentou um teor significativamente superior face às restantes amostras. Já para o elemento S (**Tabela 3.88**), o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ apresentou valores significativamente superiores face ao controlo e ao ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹.

Tabela 3.88 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), a 8 de julho (após a 2ª pulverização foliar), com recurso à técnica de fluorescência de raios-X. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | K | Ca | S |
|--------------------------------|------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | % | | |
| Controlo | 0 | n.d. | 2,44 \pm 0,04a | 0,20 \pm 0,00b | 0,06 \pm 0,00b |
| ZnO | 1350 | n.d. | 2,25 \pm 0,01b | 0,41 \pm 0,00a | 0,09 \pm 0,00a |
| ZnSO ₄ | | n.d. | 2,15 \pm 0,00c | 0,18 \pm 0,00c | 0,06 \pm 0,00b |

*n.d. não detetável

3.3.6.2.2 Espectrofotometria de Absorção Atômica

Tal como nos primeiros anos de ensaio, no terceiro ano efetuou-se a análise de espectrofotometria de absorção atômica nos frutos à colheita das quatro castas em estudo (**Tabela 3.89**). Para a casta Syrah (**Tabela 3.89**) a colheita foi efetuada a 14 de setembro, tendo-se verificado um incremento significativo nos teores de Zn com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ (1,2 vezes superior ao controlo), porém o ZnSO₄ também apresentou teores superiores face ao controlo.

Relativamente ao controlo (**Tabela 3.89**), os níveis de Mg e Ca apresentaram valores superiores e significativamente diferentes da amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ (*i.e.*, no caso do Ca significativamente diferente com ambos os fertilizantes de Zn). No que se refere ao elemento Fe (**Tabela 3.89**), observaram-se valores superiores no controlo e significativamente diferentes das restantes amostras. Porém, os elementos Na, P, Cu e K (**Tabela 3.89**) ao contrário dos restantes elementos, não apresentam diferenças significativas entre as amostras.

Tabela 3.89 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Na | P | Ca | K |
|--------------------------------|------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | | | % |
| Controlo | 0 | 10,15 \pm 0,36b | 15,20 \pm 0,72a | 164,66 \pm 1,22a | 6,09 \pm 0,30a | 5,85 \pm 1,71a | 63,66 \pm 3,08a | 0,05 \pm 0,00a | 1,25 \pm 0,01a |
| ZnO | 1350 | 11,89 \pm 0,22a | 10,88 \pm 0,85b | 152,29 \pm 4,25ab | 5,25 \pm 0,13a | 2,43 \pm 0,65a | 68,92 \pm 4,64a | 0,04 \pm 0,00b | 1,01 \pm 0,01a |
| ZnSO ₄ | | 10,72 \pm 0,15b | 8,76 \pm 1,30b | 152,10 \pm 2,24b | 5,19 \pm 0,61a | 6,27 \pm 2,47a | 69,25 \pm 1,86a | 0,04 \pm 0,00b | 1,09 \pm 0,10a |

Na casta Castelão (**Tabela 3.90**), efetuou-se uma recolha à colheita em 16 de setembro, tendo-se verificado, que os teores de Zn aumentaram com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ e ZnO - 1350 g.ha⁻¹ (ocorrendo diferenças significativas apenas com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ face ao controlo). Relativamente a este último caso, obteve-se um aumento de 1,7 vezes relativamente ao controlo.

Os teores de Mg, Fe e K relativamente ao controlo (**Tabela 3.90**), não variaram significativamente entre amostras. Já quanto ao elemento Cu (**Tabela 3.90**), ambos os fertilizantes de Zn exibiram teores significativamente superiores ao controlo. Nos teores de Ca (**Tabela 3.90**), observou-se um valor mais baixo com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, sendo significativamente diferente do controlo. Relativamente aos teores das amostras controlo nos elementos Na e P (**Tabela 3.90**), observaram-se diferenças significativas face à amostra pulverizada com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ e no caso do P com ambos os fertilizantes de Zn.

Tabela 3.90 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Castelão (campo Lagameças) à colheita, com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atómica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Na | P | Ca | K |
|--------------------------------|------|---------------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------|------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | | | % |
| Controlo | 0 | 4,48±0,24b | 9,79±2,03a | 148,29±4,41a | 2,68±0,37c | 5,09±0,63b | 71,59±2,49b | 0,03±0,00a | 0,83±0,02a |
| ZnO | 1350 | 5,00±0,15b | 12,69±1,15a | 150,01±0,99a | 5,71±0,58b | 3,60±0,22b | 102,03±2,84a | 0,03±0,00a | 0,99±0,01a |
| ZnSO ₄ | | 7,50±0,36a | 12,40±0,80a | 147,72±5,23a | 7,75±0,32a | 13,39±2,38a | 111,37±1,03a | 0,02±0,00b | 0,84±0,07a |

Na casta Moscatel (**Tabela 3.91**) a recolha à colheita foi efetuada em 15 de setembro, tendo-se observado que, apesar de não se verificarem diferenças significativas nos teores de Zn, o controlo apresentou o teor mais baixo face às restantes amostras (obtendo-se um aumento de 1,4 vezes superior ao controlo).

Os teores de Mg, Fe, Na Cu, K e Ca (**Tabela 3.91**) não variaram significativamente entre amostras. Relativamente aos teores de P (**Tabela 3.91**), observou-se uma diferença significativa entre o controlo e as amostras com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹.

Tabela 3.91 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Moscatel (campo Lau Novo, sujeito a irrigação), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Na | P | Ca | K |
|--------------------------------|------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | | | % |
| Controlo | 0 | 6,28 \pm 0,46a | 7,94 \pm 1,12a | 140,43 \pm 5,19a | 4,40 \pm 0,30a | 5,56 \pm 0,40a | 64,94 \pm 2,07b | 0,02 \pm 0,00a | 0,60 \pm 0,01a |
| ZnO | 1350 | 9,10 \pm 1,70a | 8,11 \pm 1,33a | 134,89 \pm 1,23a | 3,66 \pm 0,39a | 4,76 \pm 0,62a | 94,19 \pm 2,80a | 0,02 \pm 0,00a | 0,63 \pm 0,02a |
| ZnSO ₄ | | 8,70 \pm 0,23a | 7,73 \pm 0,49a | 142,10 \pm 10,15a | 3,53 \pm 0,10a | 6,32 \pm 0,31a | 57,06 \pm 5,28b | 0,02 \pm 0,00a | 0,62 \pm 0,00a |

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.92**), a recolha de uva à colheita a 19 de agosto apresentou um aumento significativo do Zn com ambos os fertilizantes de Zn (atingindo com o ZnO um aumento de 1,6 vezes superior ao controlo).

Nos teores em Mg, Fe, Na e Cu (**Tabela 3.92**), relativamente ao controlo, não se detetaram variações significativas entre as amostras. Os teores de Ca e P (**Tabela 3.92**) diminuíram com a biofortificação face às amostras controlo, sendo significativamente distintos deste. Contrariamente, para o K (**Tabela 3.92**) verificou-se no controlo um valor inferior face às amostras pulverizadas com ZnO e ZnSO₄, apresentando diferenças significativas relativamente ao ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹.

Tabela 3.92 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) em frutos de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires (campo Lau Velho), à colheita com recurso à técnica de espectrofotometria de absorção atômica. As letras a - c indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Cu | Na | P | Ca | K |
|--------------------------------|------|---------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | mg.kg ⁻¹ | | | | | | | % |
| Controlo | 0 | 12,37 \pm 0,52c | 12,62 \pm 3,66a | 150,11 \pm 0,81a | 3,23 \pm 0,97a | 11,33 \pm 2,61a | 70,07 \pm 0,58a | 0,08 \pm 0,00a | 0,95 \pm 0,03b |
| ZnO | 1350 | 19,76 \pm 0,06a | 14,16 \pm 1,36a | 155,06 \pm 2,04a | 4,13 \pm 0,27a | 9,86 \pm 2,43a | 35,89 \pm 4,63b | 0,04 \pm 0,01b | 1,06 \pm 0,04ab |
| ZnSO ₄ | | 15,45 \pm 0,73b | 9,02 \pm 2,02a | 152,55 \pm 0,91a | 2,90 \pm 0,43a | 9,08 \pm 0,56a | 37,52 \pm 1,04b | 0,05 \pm 0,01ab | 1,18 \pm 0,03a |

3.3.7 Parâmetros de Qualidade da Uva

3.3.7.1 Densidade, Percentagem de Peso Seco

Na casta Syrah (**Tabela 3.93**), a densidade e peso fresco do cacho não variaram entre as amostras, oscilando entre 1132 – 1227 kg.m⁻³ e 170,7 – 180,9 g, respetivamente. A percentagem de peso seco apresentou diferenças significativas entre o controlo e as amostras com os fertilizantes de Zn, com valores oscilando entre 19,8 – 31,9 %.

Tabela 3.93 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah, obtidas em Biscaia. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de factor único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 175,1 \pm 39,9a | 1195 \pm 44a | 19,8 \pm 0,8b |
| ZnO | 1350 | 170,7 \pm 45,4a | 1227 \pm 230a | 31,9 \pm 0,3a |
| ZnSO ₄ | | 180,9 \pm 16,8a | 1132 \pm 87a | 29,7 \pm 1,7a |

Relativamente à casta Castelão (**Tabela 3.94**), a densidade e peso fresco do cacho, não variaram significativamente nas diferentes amostras, oscilando os valores entre 1062 – 1124 kg.m⁻³ e 174,8 – 285,2 g. Quanto à percentagem de peso seco, observaram-se ligeiras diferenças, com valores a oscilar entre 23,1 – 25,9 %, com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ a ser significativamente distinto do controlo (**Tabela 3.94**).

Tabela 3.94 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Castelão, obtidas em Lagameças. As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 285,2 \pm 57,0a | 1062 \pm 195a | 23,1 \pm 0,5b |
| ZnO | 1350 | 174,8 \pm 28,1a | 1124 \pm 117a | 25,9 \pm 0,2a |
| ZnSO ₄ | | 185,5 \pm 25,6a | 1120 \pm 111a | 23,7 \pm 0,8ab |

Já a casta Moscatel (**Tabela 3.95**), para a densidade, peso fresco do cacho e percentagem de peso seco não apresentou variações significativas entre amostras, oscilando os valores entre 1116 – 1168 kg.m⁻³, 418,9 – 472,8 g e 23,7 – 26,5 %, respetivamente.

Tabela 3.95 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Moscatel, obtidas em Lau Novo. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cacho (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 418,9 \pm 132,1a | 1123 \pm 127a | 26,5 \pm 1,2a |
| ZnO | 1350 | 461,7 \pm 49,9a | 1168 \pm 301a | 23,8 \pm 0,7a |
| ZnSO ₄ | | 472,8 \pm 11,0a | 1116 \pm 91a | 23,7 \pm 0,6a |

À semelhança da casta anterior (**Tabela 3.96**), a densidade, peso fresco do cacho e percentagem de peso seco na casta Fernão Pires não apresentou variações significativas entre as amostras, oscilando entre 979 – 1101 kg m⁻³, 135,7 – 205,2 g e 22,1 – 26,5 %, respetivamente.

Tabela 3.96 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do peso fresco do cacho, da densidade do bago de uva, e percentagem de peso seco em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Fernão Pires, obtidas em Lau Velho. A letra a indica a ausência de diferenças significativas entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g ha ⁻¹) | | Peso Fresco do Cachos (g) | Densidade do bago de uva (kg m ⁻³) | Peso Seco (%) |
|-----------------------------------|------|------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|
| Controlo | 0 | 137,9±54,3a | 979±40a | 22,9±2,3a |
| ZnO | 1350 | 205,2±22,2a | 1101±30a | 22,1±0,7a |
| ZnSO ₄ | | 135,7±9,9a | 1078±31a | 26,5±0,3a |

3.3.7.2 Parâmetros Colorimétricos

No terceiro ano de ensaio experimental, à semelhança do primeiro e segundo ano, realizou-se a análise colorimétrica pelo sistema CIELab, tendo-se procedido a uma recolha após a 2ª pulverização foliar e à colheita (Figura 3.45).

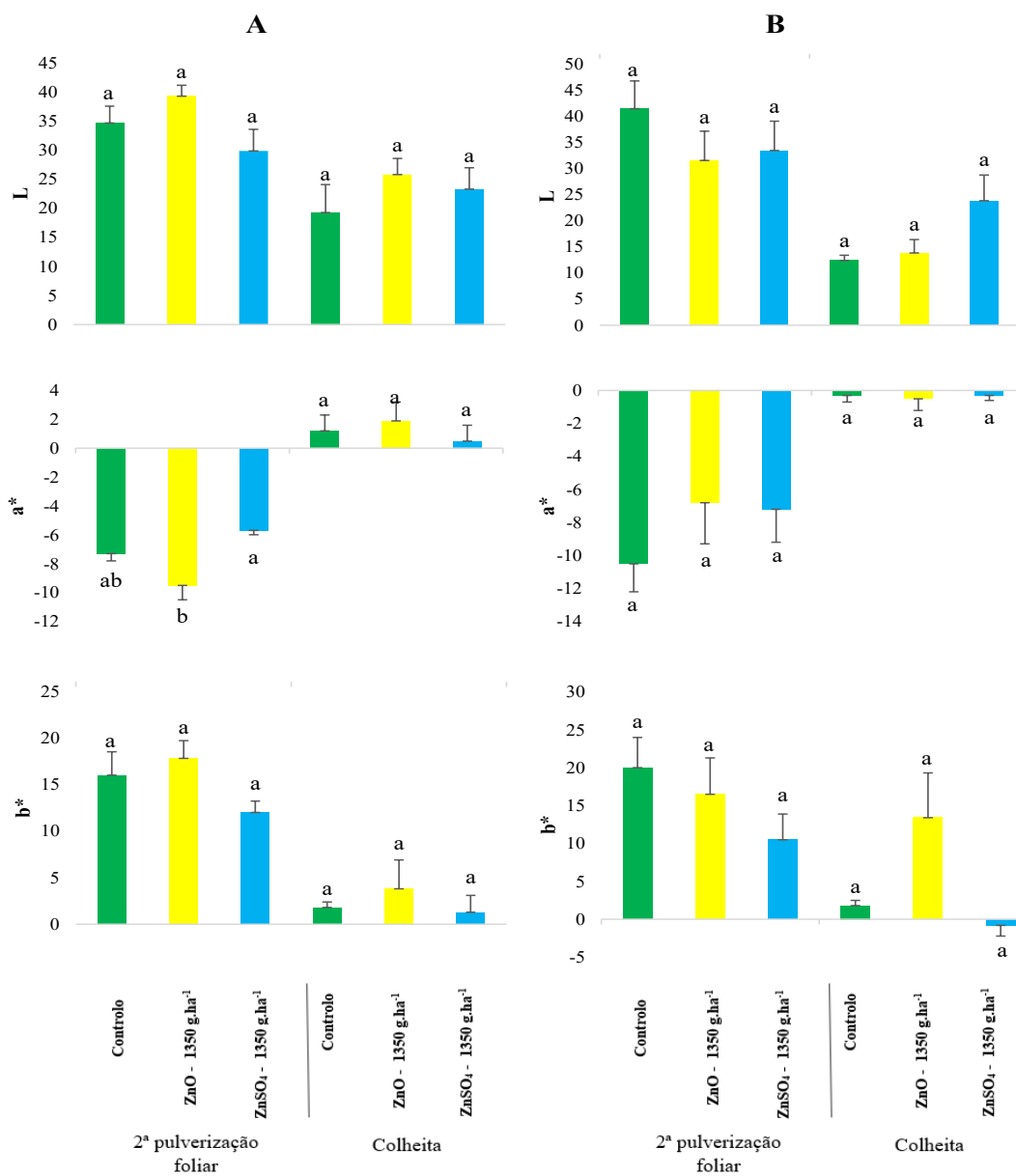


Figura 3.45 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas tintas Syrah (A) e Castelão (B), a 8 de julho, após a 2ª pulverização foliar e à colheita (14 e 16 de setembro para a casta Syrah e Castelão, respetivamente). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

Na fase de desenvolvimento do fruto, após a 2ª pulverização e à colheita (**Figura 3.46**), em todas as castas constatou-se a ausência de variações significativas. Realçando-se novamente à colheita, valores de L superiores nas castas brancas (Moscatel e Fernão Pires). Para o parâmetro a* observaram-se valores negativos mais elevados nas castas brancas do que nas tintas, evidenciando-se uma maior contribuição da tonalidade verde (**Figura 3.46**). No parâmetro b* (**Figura 3.46**), subsistiram valores positivos, embora mais elevados nas castas brancas (maior contribuição de tonalidades amarelas).

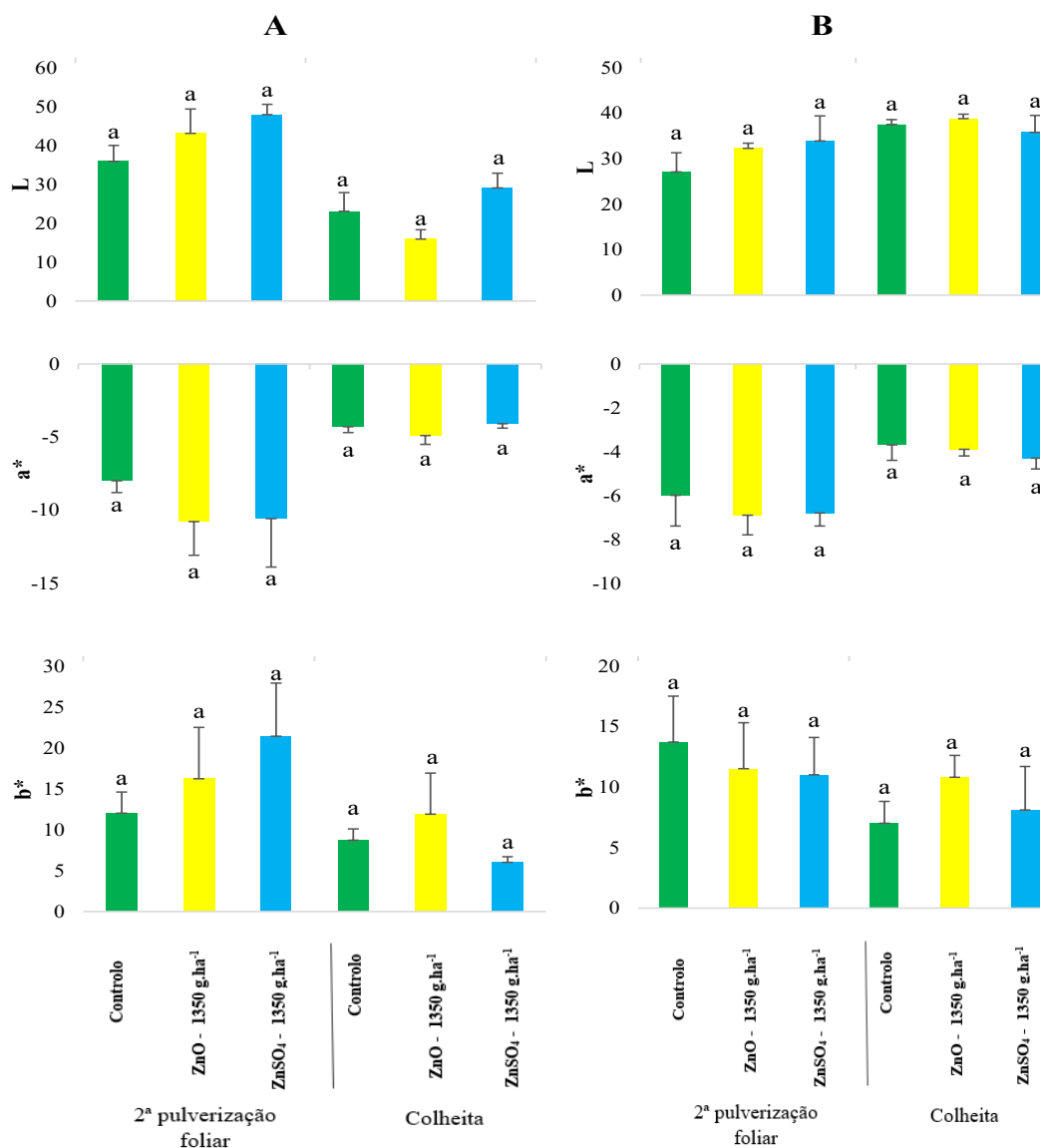


Figura 3.46 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo) dos frutos de *Vitis vinifera* L. das castas brancas Moscatel (A) e Fernão Pires (B), a 8 de julho, após a 2ª pulverização foliar e à colheita (15 de setembro e 19 de agosto para a casta Moscatel e Fernão Pires, respetivamente). A letras a indica a ausência de diferenças significativas de cada parâmetro colorimétrico entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

Realizando a análise colorimétrica de varrimento na região espectral do visível (450 - 650 nm), à colheita, nas diferentes castas (Fernão Pires, Moscatel, Lagameças e Biscaia), não se quantificaram variações significativas na transmitância colorimétrica. Para todas as castas, verificaram-se (Figura 3.47) valores de transmitância superiores nos 550 e 650 nm. Contudo, nas castas tintas (Castelão e Syrah), observaram-se valores mínimos no comprimento de onda 600 nm, por comparação com as castas Fernão Pires e Moscatel, que apresentaram valores mínimos na faixa dos 470 nm.

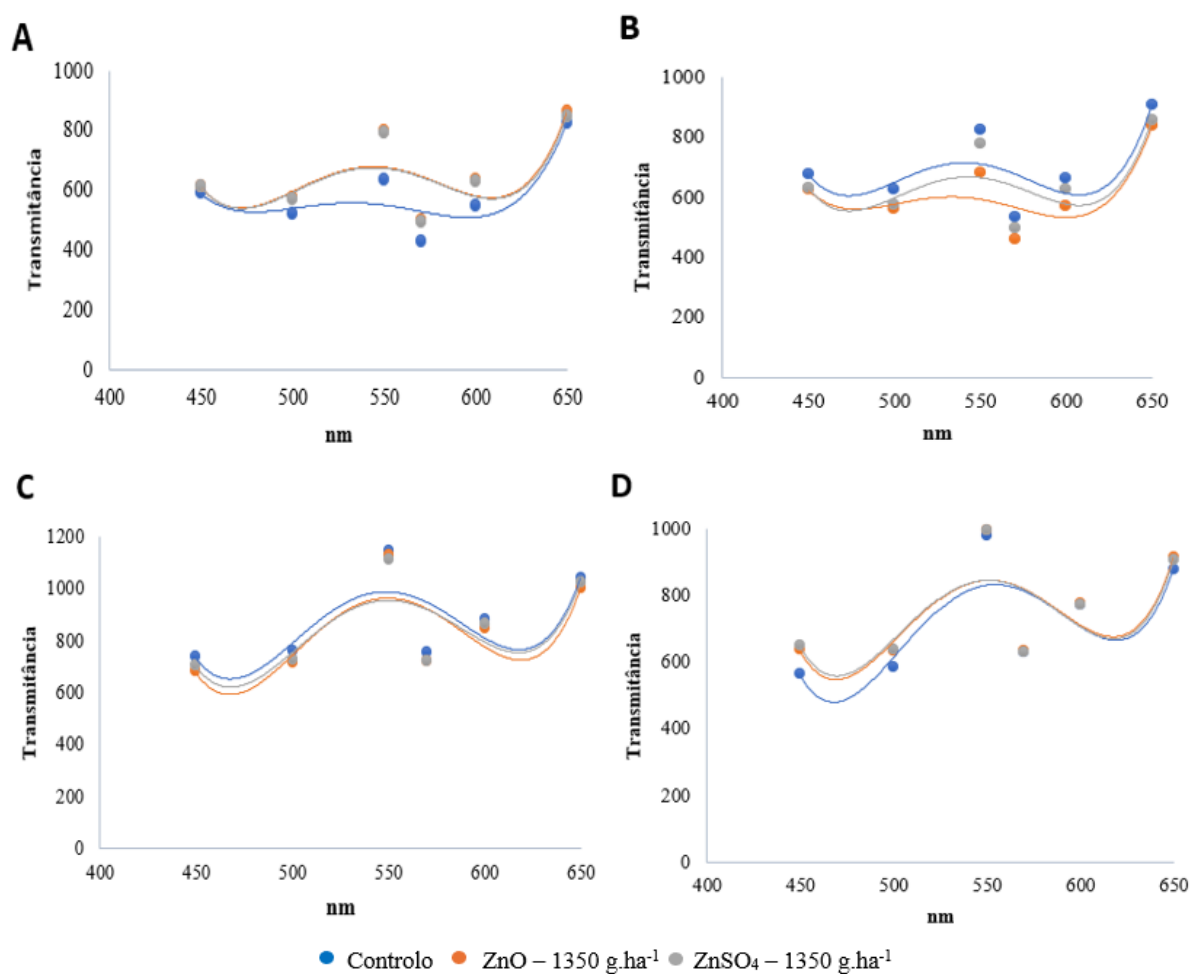


Figura 3.47 - Valores médios da transmitância colorimétrica ($n = 3$), na banda dos 450 – 650 nm, na película dos frutos à colheita da casta *Vitis vinifera*, no terceiro ano de ensaio experimental. (A) Casta Syrah; (B) Casta Castelão; (C) Casta Moscatel; (D) Casta Fernão Pires. A tabela com os valores e respetivo processamento estatístico encontra-se no Anexo A.3.

3.3.7.3 Teor de Sólidos Solúveis Totais e Açúcares Solúveis

No terceiro ano de ensaio experimental (Tabela 3.97), observaram-se variações significativas na casta Syrah e Fernão Pires, destacando-se a casta Syrah com um aumento significativo do teor de sólidos

solúveis totais, com o enriquecimento de Zn. Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.97**), constatou-se uma diminuição significativa após a pulverização com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹. Os valores nas quatro castas (**Tabela 3.97**), Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, variaram respetivamente entre 15,8–27,4 °Brix, 21,3–22,2 °Brix, 21,0–23,2 °Brix e 19,7–22,5 °Brix.

Tabela 3.97 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) do teor de sólidos solúveis totais (°Brix), em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah (campo Biscaia), Castelão (campo Lagameças), Moscatel (campo Lau Novo) e Fernão Pires (Campo Lau Velho). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre as amostras (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Syrah | Castelão | Moscatel | Fernão Pires |
|--------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Controlo | 0 | 15,8±0,5b | 21,3±1,3a | 23,2±0,6a | 22,0±0,3a |
| ZnO | 1350 | 27,4±0,2a | 22,2±1,1a | 21,0±0,9a | 19,7±0,2b |
| ZnSO ₄ | | 26,0±1,6a | 21,3±1,1a | 23,1±0,2a | 22,5±0,5a |

À semelhança dos dois anos anteriores, no terceiro ano determinou-se o perfil de açúcares solúveis presentes nas uvas das quatro castas em estudo (sacarose, glucose e frutose) e, tal como no segundo ano, os níveis de sacarose foram residuais. Neste contexto, tal como no segundo ano de ensaio, o perfil de açúcares solúveis nas uvas controlo apresentou teores na seguinte ordem de grandeza relativa: Frutose > Glucose (**Figura 3.48**). Após pulverização com ZnO e ZnSO₄, a casta Castelão, Moscatel e Fernão Pires mantiveram o perfil de açúcares solúveis (**Figura 3.48**), porém a casta Syrah apresentou uma ligeira variação, levando a uma modificação em ambas as amostras biofortificadas em Zn (*i.e.*, Glucose > Frutose).

De modo geral, observaram-se valores de glucose e frutose relativamente semelhantes entre si e também dentro da mesma casta (considerando o controlo e as amostras sujeitas à biofortificação em Zn). Os teores de glucose nas castas Syrah e Moscatel (**Figura 3.48**), tal como no segundo ano de ensaio, revelaram-se superiores nas amostras biofortificadas em Zn comparativamente às amostras controlo. Já nas castas Castelão e Fernão Pires (**Figura 3.48**), verificaram-se teores de glucose superiores nas amostras controlo face às restantes (exceto com o ZnSO₄ na casta Fernão Pires). Quanto aos valores de frutose (**Figura 3.48**), também se verificaram teores superiores nas castas Syrah e Moscatel relativamente ao controlo. Todavia, nas castas Castelão e Fernão Pires verificaram-se teores superiores nas amostras controlo comparativamente às amostras biofortificadas em Zn (**Figura 3.48**).

Neste terceiro ano, tal como no segundo ano de ensaio experimental, os açúcares totais corresponderam aos valores da glucose e frutose (**Figura 3.48**), uma vez que a sacarose não foi quantificada (devido aos seus valores residuais). Ao nível dos açúcares totais (**Figura 3.48**) constatou-se que, nas uvas controlo, a casta Syrah se destacou pelo valor inferior face às restantes castas. Já as uvas sujeitas

à biofortificação com a pulverização de ZnO e ZnSO₄, relativamente ao controlo (**Figura 3.48**), apresentaram teores de açúcares totais mais elevados nas castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires (exceto nesta última com a amostra do ZnO). Na casta Castelão (**Figura 3.48**), os teores de açúcares totais foram superiores nas amostras controlo face às restantes amostras.

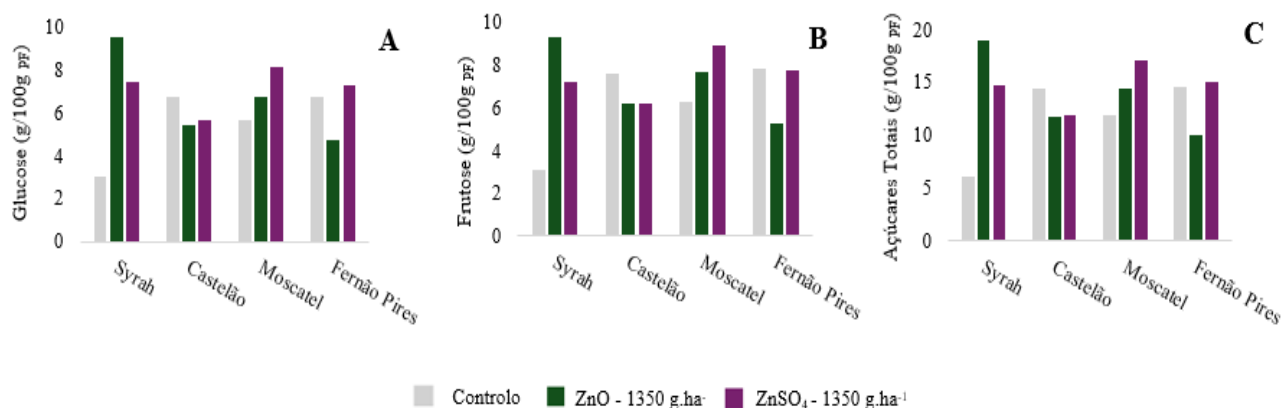


Figura 3.48 - Valores médios dos açúcares glucose frutose e açúcares totais solúveis de frutos de *Vitis vinifera* L. à colheita, das castas Syrah (14 de setembro), Castelão (16 de setembro), Moscatel (15 de setembro), e Fernão Pires (19 de agosto), provenientes de Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia respetivamente. O erro padrão foi inferior a 3%. A- Glucose; B- Frutose; C- Açúcares totais.

3.3.7.4 Ácidos gordos

O teor de AGT (**Tabela 3.98**), não variou com a pulverização dos fertilizantes de Zn, exceto em Syrah, onde se observou um aumento nas uvas provenientes das videiras pulverizadas com ZnO e ZnSO₄.

O perfil de AG nas videiras controlo (exceto na casta Fernão Pires), foi caracterizado pela maior abundância dos dois AG polinsaturados, C18:2 e o C18:3, seguidos do C16:0. O C18:0 e o C18:1 (**Tabela 3.98**), apresentaram uma percentagem semelhante. A casta Fernão Pires (**Tabela 3.98**) apresentou um perfil de AG diferente das restantes, mantendo-se o ácido gordo C18:2 como mais abundante, seguido do AG saturado C16:0, sendo o C18:3 o terceiro mais abundante. O ácido esteárico (C18:0) e o ácido oleico (C18:1) (**Tabela 3.98**), também apresentaram uma percentagem semelhante nesta casta. Verificou-se ainda que os AG de cadeia inferior a C16 ocorreram em percentagens inferiores em Fernão Pires, sendo mais abundantes nas restantes castas (**Tabela 3.98**). A pulverização com os fertilizantes de Zn (**Tabela 3.98**), não causou variações significativas no perfil dos AG. A nível das diferenças na mesma casta, observaram-se apenas variações significativas face ao controlo, na casta Moscatel com o ZnSO₄ a revelar um valor superior no C16:0 e com um valor inferior no C18:0, e na casta Syrah com ambos os fertilizantes de Zn a apresentar no C18:0 um valor inferior e no C18:1 um valor superior.

Relativamente ao DBI dos AGT (**Tabela 3.98**), não se observou nenhum efeito relevante em qualquer das castas, denotando-se uma acentuada estabilidade no grau de insaturação dos lípidos. No entanto (**Tabela 3.98**), comparando os valores das videiras controlo das diferentes castas, observou-se um DBI mais baixo em Fernão Pires, o que reflete as diferenças atrás referidas no perfil de ácidos gordos (maior percentagem de C16:0 e menor de C18:3 relativamente às outras castas).

Tabela 3.98 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) do teor de ácidos gordos totais (AGT), perfil de ácidos gordos e grau de insaturação (DBI, *double bond index*) dos lípidos de bagos de uva nas quatro castas, no terceiro ano de ensaio. Ácidos gordos de cadeia inferior a C16 (<C16); Ácido palmítico (C16:0); Ácido esteárico (C18:0); Ácido oleico (C18:1); Ácido linoleico (C18:2); Ácido linolénico (C18:3). As letras a - c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre as amostras de cada casta (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| | Amostras (g.ha ⁻¹) | AGT (g.100g ⁻¹ PF) | <C16:0 | C16:0 | C18:0 | C18:1 | | | C18:3 | DBI |
|--------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| | | | | | | C18:1 | C18:2 | C18:3 | | |
| Syrah | Controlo | 0 | 2,02 \pm 0,15b | 3,02 \pm 0,46a | 17,03 \pm 1,28a | 8,40 \pm 0,42a | 8,42 \pm 0,32c | 35,50 \pm 0,42a | 27,62 \pm 1,32a | 5,71 \pm 0,25a |
| | ZnO | 1350 | 2,95 \pm 0,17a | 1,06 \pm 0,10a | 20,53 \pm 0,91a | 5,89 \pm 0,38b | 13,45 \pm 0,41b | 34,64 \pm 0,67a | 24,43 \pm 0,79a | 5,69 \pm 0,24a |
| | ZnSO ₄ | | 3,18 \pm 0,09a | 0,39 \pm 0,09a | 18,69 \pm 1,15a | 5,71 \pm 0,65b | 15,86 \pm 0,42a | 33,02 \pm 1,95a | 26,33 \pm 0,53a | 6,59 \pm 0,65a |
| Castelão | Controlo | 0 | 1,38 \pm 0,03a | 0,76 \pm 0,16a | 17,45 \pm 1,17a | 5,45 \pm 0,67a | 4,57 \pm 0,37a | 45,96 \pm 0,67a | 25,81 \pm 0,92a | 7,36 \pm 0,19a |
| | ZnO | 1350 | 1,57 \pm 0,24a | 0,42 \pm 0,06a | 16,95 \pm 0,68a | 5,95 \pm 0,75a | 3,72 \pm 0,32a | 47,31 \pm 1,21a | 25,64 \pm 0,83a | 7,51 \pm 0,11a |
| | ZnSO ₄ | | 1,74 \pm 0,07a | 0,63 \pm 0,07a | 17,33 \pm 1,91a | 5,99 \pm 0,44a | 4,72 \pm 0,68a | 44,05 \pm 1,84a | 27,28 \pm 0,16a | 7,36 \pm 0,55a |
| Moscatel | Controlo | 0 | 1,62 \pm 0,12a | 1,82 \pm 0,07a | 13,91 \pm 1,24b | 9,46 \pm 0,79a | 2,36 \pm 0,16a | 42,81 \pm 0,94a | 25,81 \pm 0,92a | 7,04 \pm 0,21a |
| | ZnO | 1350 | 1,69 \pm 0,19a | 1,70 \pm 0,10a | 16,01 \pm 0,24b | 7,45 \pm 0,54ab | 2,64 \pm 0,48a | 43,21 \pm 0,86a | 25,64 \pm 0,83a | 7,01 \pm 0,18a |
| | ZnSO ₄ | | 2,07 \pm 0,31a | 1,37 \pm 0,29a | 19,97 \pm 0,65a | 5,82 \pm 0,87b | 2,48 \pm 0,13a | 41,50 \pm 2,02a | 27,28 \pm 0,16a | 6,40 \pm 0,56a |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 0,70 \pm 0,12a | 1,07 \pm 0,17a | 31,67 \pm 2,19a | 9,00 \pm 0,28a | 4,38 \pm 0,69a | 33,68 \pm 4,05a | 20,21 \pm 1,56a | 3,22 \pm 0,36a |
| | ZnO | 1350 | 1,04 \pm 0,18a | 0,95 \pm 0,24a | 29,60 \pm 3,91a | 8,84 \pm 1,46a | 4,68 \pm 0,66a | 36,07 \pm 3,35a | 19,86 \pm 2,91a | 3,69 \pm 0,81a |
| | ZnSO ₄ | | 0,84 \pm 0,12a | 1,80 \pm 0,26a | 31,91 \pm 1,07a | 6,66 \pm 0,27a | 4,19 \pm 0,32a | 37,33 \pm 2,16a | 18,12 \pm 2,18a | 3,31 \pm 0,22a |

3.3.7.5 Textura e Análise Sensorial da uva

No terceiro ano de ensaio, já com um itinerário tendencialmente otimizado, similarmente ao primeiro ano, optou-se por aferir as características físicas (textura, firmeza, firmeza da polpa, trabalho) dos respetivos frutos em todas as castas (**Tabela 3.99**).

Através da análise do parâmetro dureza (**Tabela 3.99**), entre castas de modo geral verificaram-se valores superiores no controlo das castas tintas, sendo os valores mais altos encontrados na casta Castelão, e os mais baixos na casta Fernão Pires. No entanto, dentro da mesma casta, esta diferença de

dureza apenas é significativa na casta Syrah (*i.e.*, o controlo significativamente superior às restantes amostras). Embora, nas restantes castas seja de salientar que, embora não sendo significativo, com o ZnO e ZnSO₄ (1350 g.ha⁻¹), subsistiu uma tendência para um ligeiro decréscimo da dureza. Aquando da determinação do índice de penetração (**Tabela 3.99**) não se observaram diferenças significativas entre as castas em estudo, predominando valores superiores e inferiores na casta Castelão e Fernão Pires, respetivamente. De igual modo, no parâmetro firmeza da polpa (**Tabela 3.99**), não se detetaram variações relevantes entre as castas, ainda que tenham subsistido valores superiores no controlo nas castas tintas e valores superiores nas castas brancas com o tratamento ZnO - 1350 g.ha⁻¹.

Tabela 3.99 - Valores médios \pm erro padrão (n = 3 – 5) dos parâmetros de textura (*i.e.*, dureza, força de penetração e firmeza da polpa) em frutos à colheita de *Vitis vinifera* casta Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P \leq 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | | Dureza (N) | Trabalho de Penetração (N.s) | Firmeza da Polpa (N) |
|--------------------------------|-------------------|------|--------------------|------------------------------|----------------------|
| Syrah | Controlo | 0 | 5,39 \pm 0,46a | 16,42 \pm 1,74a | 0,94 \pm 0,31a |
| | ZnO | 1350 | 3,08 \pm 0,37bc | 10,9 \pm 1,140a | 0,34 \pm 0,02a |
| | ZnSO ₄ | | 2,75 \pm 0,38bc | 9,94 \pm 1,79a | 0,42 \pm 0,06a |
| Castelão | Controlo | 0 | 5,85 \pm 0,46a | 17,18 \pm 2,34a | 0,85 \pm 0,07a |
| | ZnO | 1350 | 4,67 \pm 0,43ab | 15,74 \pm 4,04a | 0,74 \pm 0,18ab |
| | ZnSO ₄ | | 4,61 \pm 0,39ab | 13,83 \pm 2,78a | 0,46 \pm 0,05ab |
| Moscatel | Controlo | 0 | 4,61 \pm 0,23abc | 14,68 \pm 2,12a | 0,39 \pm 0,02a |
| | ZnO | 1350 | 3,92 \pm 0,61abc | 13,21 \pm 2,10a | 0,45 \pm 0,12a |
| | ZnSO ₄ | | 3,14 \pm 0,29bc | 10,56 \pm 1,56a | 0,26 \pm 0,04a |
| Fernão Pires | Controlo | 0 | 3,33 \pm 0,20abc | 9,98 \pm 0,59a | 0,13 \pm 0,02a |
| | ZnO | 1350 | 2,36 \pm 0,49c | 9,42 \pm 1,99a | 0,47 \pm 0,20a |
| | ZnSO ₄ | | 3,17 \pm 0,26bc | 10,35 \pm 0,74a | 0,29 \pm 0,05a |

3.3.8 Microvinificação

Após a colheita das diferentes castas, Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires, procedeu-se à microvinificação. Após o término deste processo, foram realizadas análises de forma a determinar a eficiência da biofortificação em Zn e, complementarmente, determinaram-se outros elementos minerais no vinho. Para além desta análise, determinaram-se alguns parâmetros de qualidade relevantes para a produção de vinho e efetuou-se uma prova sensorial.

3.3.8.1 Quantificação de Elementos Minerais

O vinho produzido com a casta tinta Syrah (**Tabela 3.100**), exibiu teores de Zn mais elevados com as uvas biofortificadas, atingindo um valor 1,6 vezes superior ao vinho controlo, e sendo

significativamente diferente. Relativamente ao Cu, Fe e Na (**Tabela 3.100**), observaram-se valores superiores e significativamente diferentes no vinho controlo face aos restantes. Por oposição, o vinho controlo mostrou teores inferiores e significativamente diferentes nos teores de Ca e K, relativamente às amostras com as uvas biofortificadas em Zn (**Tabela 3.100**). O Mg (**Tabela 3.100**), não sofreu alterações significativas entre as amostras.

Tabela 3.100 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta tinta Syrah no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta e para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K |
|-----------------------------------|------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| | | mg.L ⁻¹ | | | | | | |
| Controlo | 0 | 1,49 \pm 0,01b | 3,28 \pm 0,00a | 9,22 \pm 0,00a | 1,36 \pm 0,00a | 0,13 \pm 0,00a | 23,77 \pm 0,02c | 898,17 \pm 5,21b |
| ZnO | 1350 | 2,31 \pm 0,13a | 1,09 \pm 0,01c | 9,23 \pm 0,00a | 1,21 \pm 0,03b | 0,06 \pm 0,00b | 26,11 \pm 0,15b | 1055,67 \pm 6,96a |
| ZnSO ₄ | | 2,08 \pm 0,01a | 1,32 \pm 0,02b | 9,21 \pm 0,01a | 1,22 \pm 0,01b | 0,07 \pm 0,00b | 27,83 \pm 0,10a | 1049,67 \pm 2,85a |

A casta tinta Castelão (**Tabela 3.101**) apresentou valores de Zn superiores no vinho produzido com as uvas biofortificadas, com aumentos significativos entre 1,1– 1,3 vezes, face ao controlo (o máximo teor de Zn com o vinho das uvas com ZnSO₄ - 1350). Para os elementos Ca, Mg e Fe (**Tabela 3.101**), verificaram-se valores superiores no controlo e significativamente diferentes das restantes amostras (sendo que, relativamente ao Ca e Mg, entre as amostras, o que apresenta valores mínimos é o vinho com as uvas pulverizadas com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹). Quanto ao Na e Cu (**Tabela 3.101**), não se observaram diferenças significativas entre o vinho controlo e os restantes. Em relação aos teores de K (**Tabela 3.101**), encontraram-se diferenças significativas no controlo, comparativamente aos vinhos com as uvas pulverizadas com os fertilizantes de Zn (apresentando o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ o teor mais elevado).

Tabela 3.101 - Valores médios \pm erro padrão ($n = 3$) de elementos minerais (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta tinta Castelão no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta e para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K |
|-----------------------------------|------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| | | mg.L ⁻¹ | | | | | | |
| Controlo | 0 | 1,22 \pm 0,00c | 5,20 \pm 0,02a | 9,12 \pm 0,00a | 1,18 \pm 0,02a | 0,03 \pm 0,00a | 33,66 \pm 0,18a | 934,47 \pm 8,86c |
| ZnO | 1350 | 1,30 \pm 0,00b | 1,38 \pm 0,02b | 9,00 \pm 0,01c | 1,24 \pm 0,02a | 0,03 \pm 0,01a | 26,00 \pm 0,02c | 1029,00 \pm 4,58b |
| ZnSO ₄ | | 1,56 \pm 0,01a | 1,23 \pm 0,01c | 9,07 \pm 0,01b | 1,20 \pm 0,01a | 0,04 \pm 0,00a | 29,41 \pm 0,03b | 1064,67 \pm 4,91a |

Os resultados apresentados para a casta Moscatel (**Tabela 3.102**), mostraram apenas um incremento no teor de Zn no vinho das uvas pulverizadas com ZnO - 1350 g.ha⁻¹, sendo significativamente diferente do vinho controle (apresentando um aumento de 1,1 vezes face ao controle). O teor em Mg mostrou ser mais elevado no vinho controle (**Tabela 3.102**), havendo diferenças significativas entre este e o vinho das amostras biofortificadas (com um valor mínimo e máximo com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, respetivamente). Relativamente ao Fe e Na, o vinho controle apresentou o valor mais baixo, sendo significativamente diferente dos restantes (**Tabela 3.102**). Já o valor de Cu, Ca e K demonstrou ser superior no vinho das uvas com ZnO - 1350 g.ha⁻¹, sendo significativamente diferente do vinho controle (no caso do Ca e K, com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, também apresentou diferenças significativas face ao controle) (**Tabela 3.102**).

Tabela 3.102 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais em (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta branca Moscatel no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre cada casta e para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K |
|-----------------------------------|------|--------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|
| | | mg.L ⁻¹ | | | | | | |
| Controlo | 0 | 0,59±0,00b | 0,46±0,02b | 8,88±0,01a | 1,39±0,01b | 0,03±0,00b | 24,69±0,04b | 749,87±3,32c |
| ZnO | 1350 | 0,62±0,00a | 0,74±0,01a | 8,75±0,01c | 1,48±0,00a | 0,09±0,00a | 26,94±0,02a | 820,30±4,06a |
| ZnSO ₄ | | 0,24±0,00c | 0,72±0,01a | 8,78±0,00b | 1,47±0,00a | 0,03±0,00b | 23,46±0,05c | 766,93±1,43b |

Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.103**) verificou-se um aumento de Zn relativamente ao controle, de 2,2 e 2,4 vezes, com o vinho das uvas com ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, respetivamente. Relativamente ao Mg e Na (**Tabela 3.103**), não se observaram diferenças significativas entre as amostras. Observaram-se teores de Fe (**Tabela 3.103**) mais elevados, e significativamente diferentes, no vinho controle face aos restantes. Quanto ao Cu, Ca e K (**Tabela 3.103**), os valores do vinho controle e as amostras com ZnO e ZnSO₄ são significativamente diferentes, mas no que se refere ao Cu, o controle apresentou um teor mais baixo, e para o Ca e K prevaleceu o teor mais elevado.

Tabela 3.103 - Valores médios ± erro padrão (n = 3) de elementos minerais em (considerando o peso seco como referencial) no vinho produzido com a casta branca Fernão Pires no terceiro ano de ensaio experimental. As letras a - c indicam diferenças significativas entre amostras para cada parâmetro (análise estatística com recurso à aplicação do teste ANOVA de fator único, P ≤ 0,05).

| Amostras (g.ha ⁻¹) | | Zn | Fe | Mg | Na | Cu | Ca | K |
|-----------------------------------|------|--------------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|--------------|
| | | mg.L ⁻¹ | | | | | | |
| Controlo | 0 | 0,76±0,02b | 1,35±0,01a | 8,70±0,14a | 1,38±0,01ab | 0,02±0,00c | 24,57±0,05a | 928,33±6,64a |
| ZnO | 1350 | 1,69±0,01a | 1,07±0,02b | 8,79±0,01a | 1,47±0,00a | 0,06±0,00b | 16,70±0,03c | 881,87±2,90b |
| ZnSO ₄ | | 1,83±0,08a | 0,69±0,01c | 8,78±0,01a | 1,21±0,07b | 0,07±0,00a | 17,82±0,06b | 683,03±2,05c |

3.3.8.2 Parâmetros de Qualidade do Vinho

Os valores de acidez volátil (**Tabela 3.104**) para as quatro castas são semelhantes, variando entre 0,4 - 0,57 g.dm⁻³, à exceção da Syrah, que apresentaram valores mais altos. Já a acidez total (**Tabela 3.104**) apresentou valores oscilando entre 3,9 - 5,3 g.dm⁻³. Quanto ao sulfuroso livre (**Tabela 3.104**) a casta Fernão Pires apresentou valores de 16 e 18 mg.dm⁻³ com o ZnSO₄ e o ZnO, respetivamente, sendo superiores às restantes, que apresentaram valores entre 4 - 12 mg.dm⁻³ (**Tabela 3.104**). Para o sulfuroso total (**Tabela 3.104**), verificou-se o mesmo, apresentando a casta Fernão Pires valores superiores às restantes castas, num intervalo de valores entre 22 - 136 mg.dm⁻³. A acidez dos vinhos (**Tabela 3.104**) demonstrou ser maior nos vinhos brancos com valores de pH entre 3,17 - 3,71, comparativamente aos vinhos tintos que apresentam valores entre 4 - 4,3.

Tabela 3.104 - Análises de qualidade dos vinhos produzidos com as castas biofortificadas de *Vitis vinifera*: Fernão Pires, Moscatel, Castelão e Syrah através do sistema Foss.

| Amostras 1350 g.ha ⁻¹ | | Acidez volátil g.dm ⁻³ | Acidez total g.dm ⁻³ | SO ₂ livre mg.dm ⁻³ | SO ₂ total mg.dm ⁻³ | pH |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|------|
| Syrah | ZnO | 1,3 | 5,3 | 8 | 36 | 4,30 |
| | ZnSO ₄ | 1,1 | 4,8 | 8 | 22 | 4,24 |
| Castelão | ZnO | 0,5 | 3,9 | 12 | 56 | 4,00 |
| | ZnSO ₄ | 0,6 | 4,7 | 10 | 50 | 4,10 |
| Moscatel | ZnO | 0,4 | 5,2 | 10 | 90 | 3,17 |
| | ZnSO ₄ | 0,4 | 5,1 | 4 | 74 | 3,50 |
| Fernão Pires | ZnO | 0,5 | 4,1 | 18 | 130 | 3,68 |
| | ZnSO ₄ | 0,4 | 4,2 | 16 | 136 | 3,71 |

3.3.8.3 Análise Sensorial do Vinho

Pretendendo-se avaliar possíveis alterações sensoriais do vinho produzido com as uvas sujeitas a biofortificação com ZnO e ZnSO₄, foram realizadas provas hedónicas dos vinhos tintos e brancos. Para os vinhos monocasta Castelão e Syrah (**Figura 3.49, 3.50**), a prova foi composta por um painel de 19 indivíduos (11 mulheres e 8 homens, com idades compreendidas entre os 20 - 66 anos e 21 - 66, respetivamente). Na prova dos vinhos monocasta Moscatel e Fernão Pires (**Figura 3.51, 3.52**), a prova foi composta por um painel de 10 pessoas (7 mulheres e 3 homens, com idades compreendidas entre os 24-65 anos e 54-65, respetivamente).

Com a casta Syrah (**Figura 3.49**), obtiveram-se vinhos com maior turbidez, comparativamente ao vinho controlo, não se estabelecendo uma concordância na cor no caso do vinho controlo e sobressaindo uma cor granada e rubi no caso do ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e do ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, respetivamente.

Evidenciaram-se cheiros frutados e a vegetal no vinho controle e ZnO - 1350 g.ha⁻¹, contrariamente ao ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, que apresentou um cheiro a fermento (**Figura 3.49**). As notas prevalentes na boca são de acidez (**Figura 3.49**), amargura e taninos, também se observando algum volume e persistência.

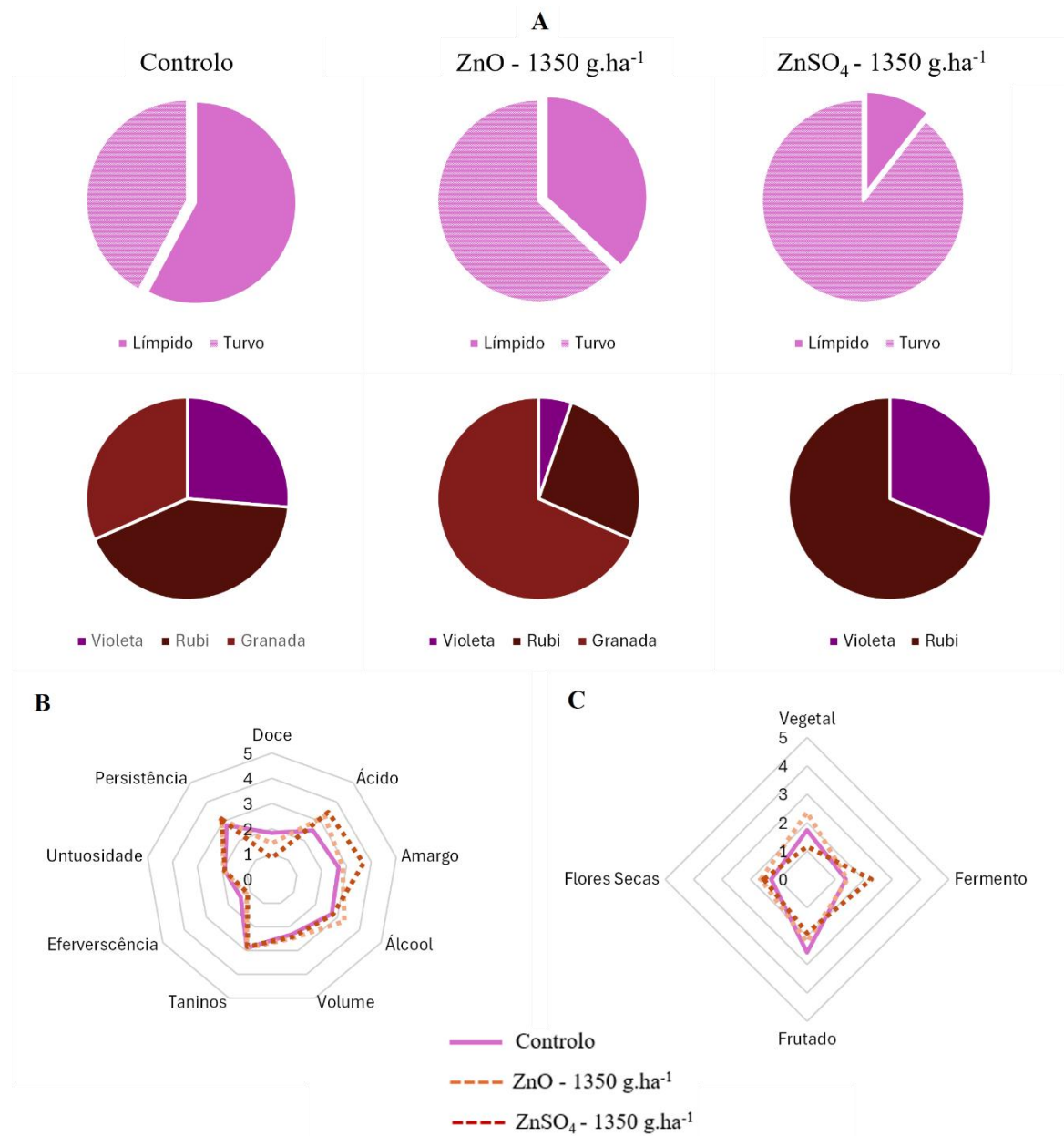


Figura 3.49 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta tinta Syrah (Controlo, ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹).

O vinho monocasta Castelão (**Figura 3.50**) aparentou ser límpido no controlo e o vinho produzido com as uvas pulverizadas com ZnO - 1350 g.ha⁻¹, a prevalecer a cor rubi. Já no caso do vinho Castelão

(Figura 3.50), com as uvas biofortificadas com $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$, foi observada uma maior turbidez e maioritariamente a cor granada. Realçaram-se nestes vinhos, a nível do olfato, um cheiro frutado, principalmente no vinho controlo. Nos vinhos produzidos com as uvas pulverizadas com $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ e $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ (Figura 3.50), destacaram-se também cheiros a flores secas e fermento respetivamente. Na boca (Figura 3.50), foi possível identificar-se persistência nestes vinhos, assim como acidez, amargura, álcool, volume e de taninos. Destacou-se, contudo, a prevalência de algumas notas que se diferenciam entre estes vinhos, como a doçura no vinho controlo e com o vinho das uvas com $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ e, no caso do vinho das uvas com $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$, a untuosidade (Figura 3.50).

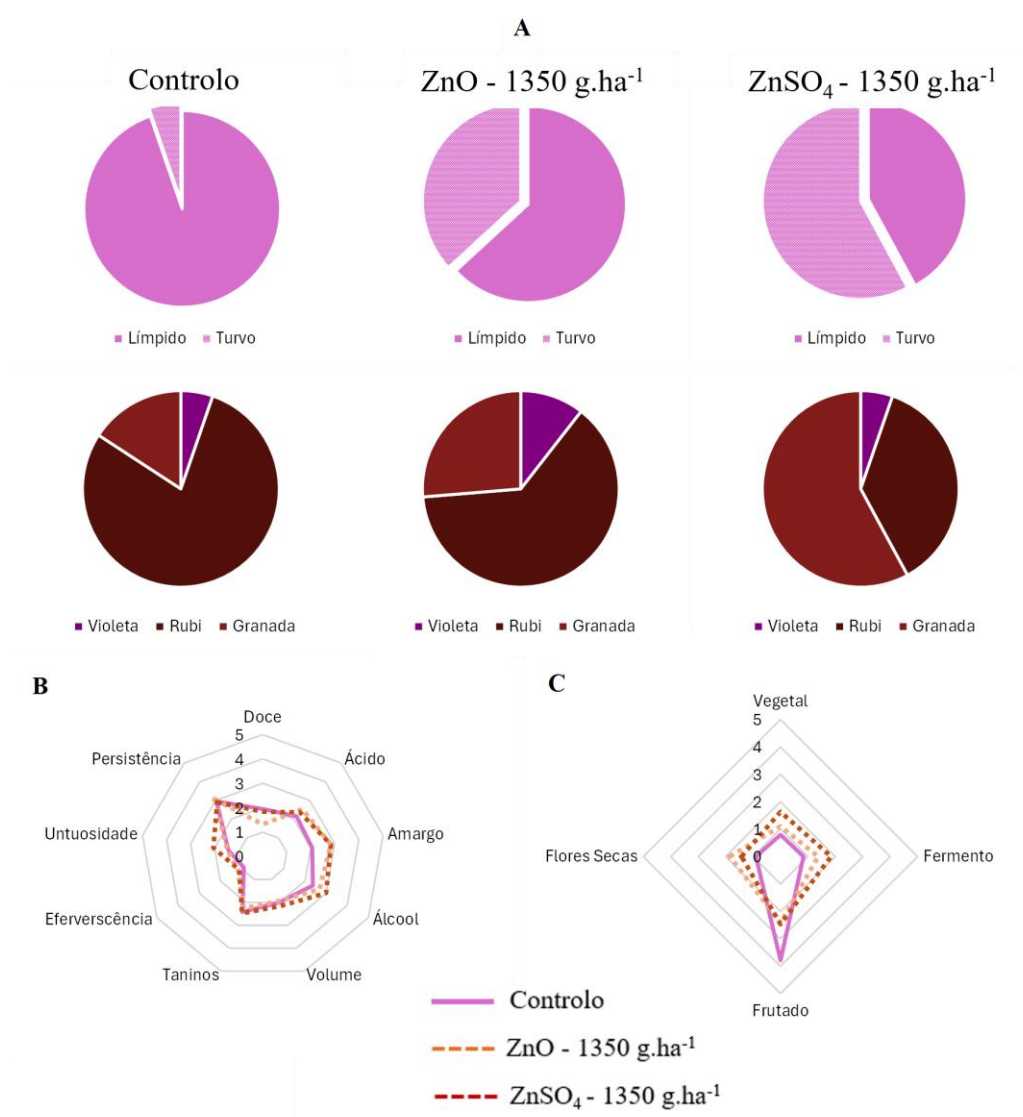


Figura 3.50 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta tinta Castella (Controlo, $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ e $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$).

Em geral (**Figura 3.51**), no vinho da casta Moscatel, os provadores consideraram os vinhos límpidos, à exceção do controlo onde maioritariamente o vinho é descrito como turvo. No vinho controlo (**Figura 3.51**), a cor mais anotada é o amarelo-esverdeado, já nos vinhos produzidos com as uvas sujeitas à biofortificação com Zn destacou-se a cor amarelo-ouro. Relativamente ao olfato (**Figura 3.51**), é de realçar o cheiro frutado, enquanto que na boca revelaram-se características mais acentuadas de álcool, persistência, volume, acidez e amargura.

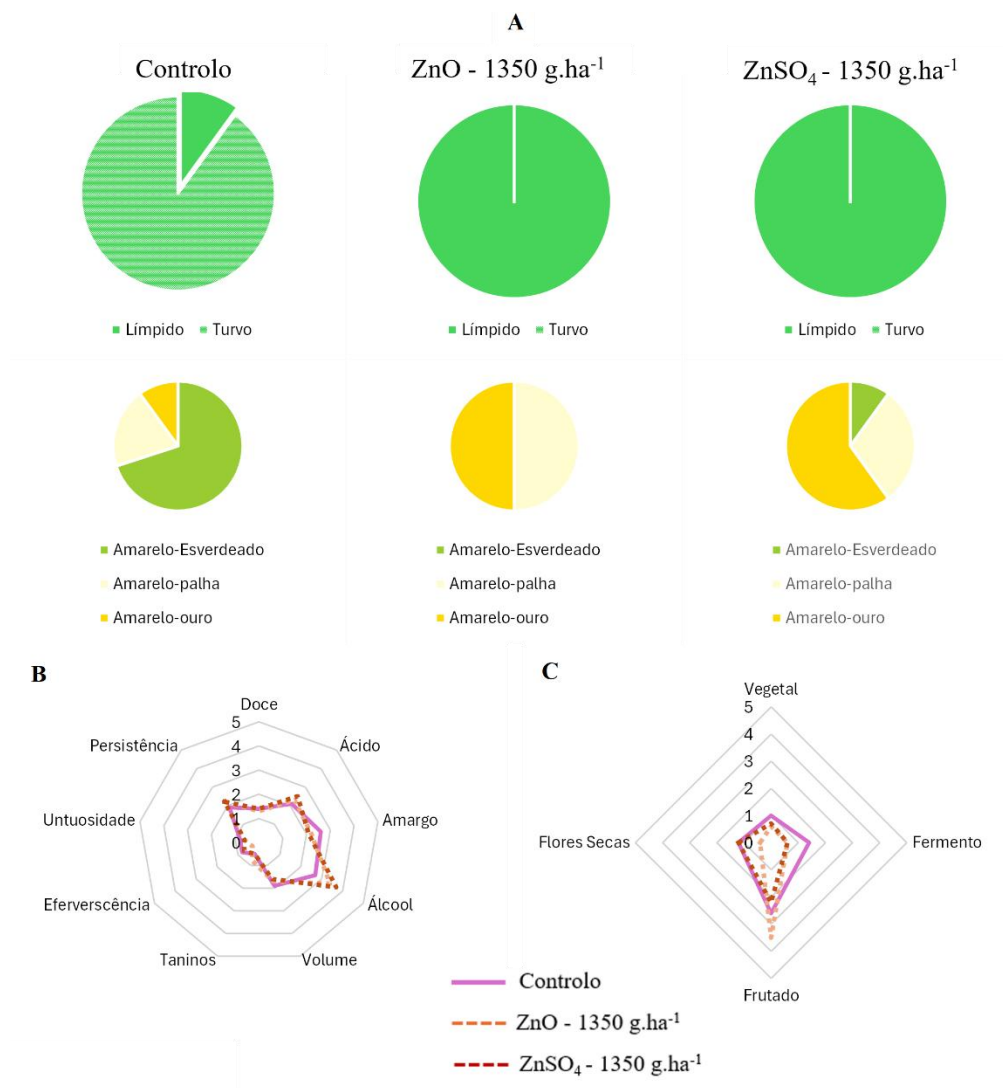


Figura 3.51 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta branca Moscatel (Controlo, ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹).

O vinho da casta Fernão Pires (**Figura 3.52**), quanto à turbidez, mostrou ser límpido nos vinhos produzidos com as uvas sujeitas aos fertilizantes de Zn. Em geral não foi possível estabelecer uma cor concordante relativamente ao vinho dentro do painel (**Figura 3.52**). No nariz (**Figura 3.52**), destacou-se a sensação de fermento e frutado. Na boca (**Figura 3.52**) destacou-se, em geral, a persistência, acidez,

amargura, álcool e volume, sendo de acrescentar ao vinho produzido com as uvas pulverizadas com o $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ uma nota doce.

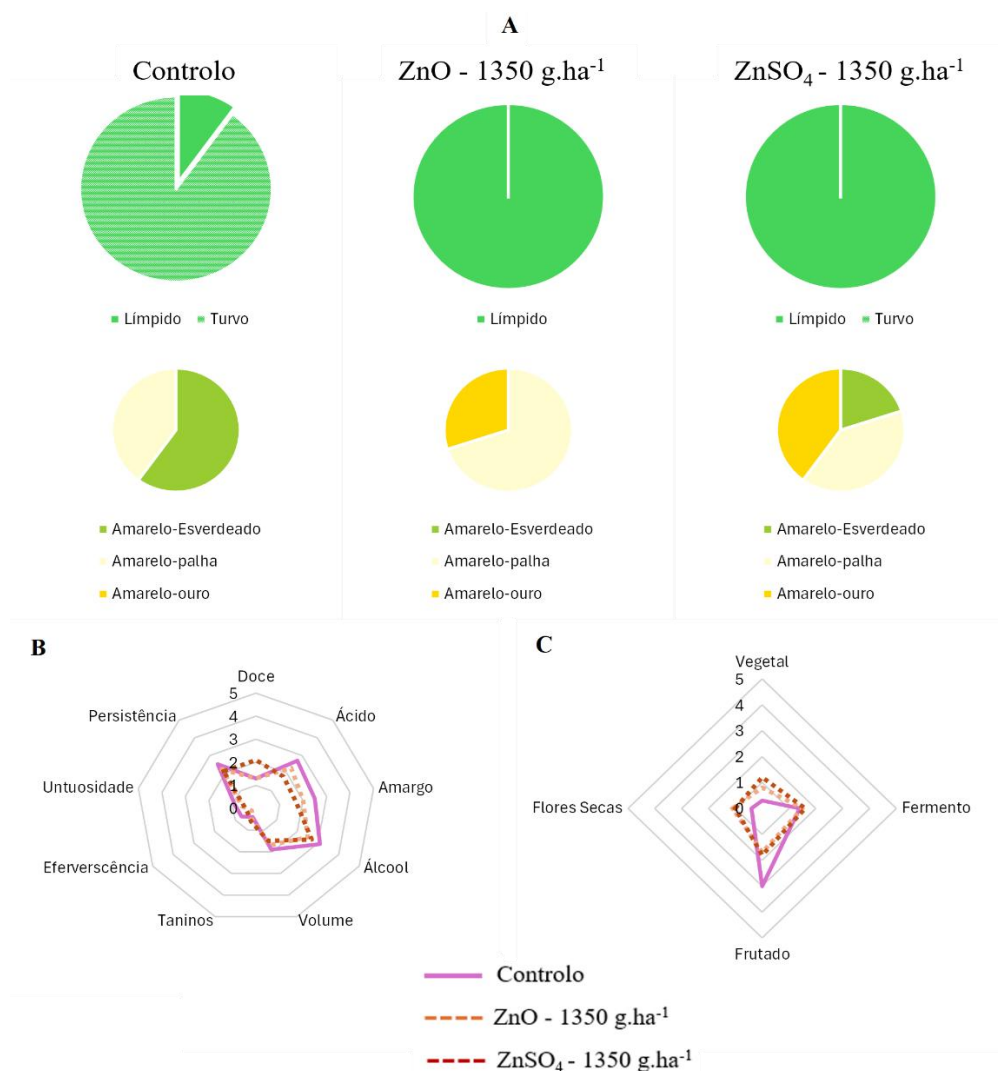


Figura 3.52 - Resultados da análise sensorial do vinho monocasta casta branca Fernão Pires (Controlo, ZnO - 1350 g.ha⁻¹ e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹).

A nível da apreciação global, na casta Syrah verificou-se uma preferência dos vinhos controlo e do vinho das uvas com $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$, face ao $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ (**Figura 3.53**). Relativamente à Castelão, a avaliação do painel foi similar (**Figura 3.53**), no entanto observou-se uma maior apreciação do vinho controlo face aos restantes. Na casta Moscatel e Fernão Pires, destacou-se positivamente o vinho produzido com as uvas com o $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ e $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ (**Figura 3.53**), respetivamente (sendo que na casta Fernão Pires ambos os vinhos com as uvas biofortificadas em Zn mostraram uma maior apreciação relativamente ao controlo).

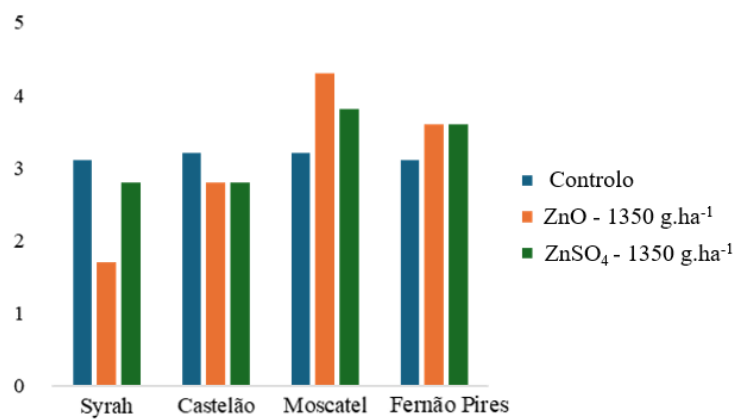


Figura 3.53 - Avaliação sensorial global dos vinhos monocastas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires.

DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das Condições Edafoclimáticas dos Campos Experimentais

A eficiência da biofortificação agronômica em Zn, depende de fatores edafoclimáticos, sendo que neste sentido iremos abordar neste ponto a questão das condições climáticas, características e morfologia dos solos e água de irrigação.

O clima e as variações climáticas, influenciam a fenologia, crescimento e desenvolvimento da videira e, conseqüentemente, a qualidade da uva e dos subprodutos, nomeadamente do vinho (Dinis et al., 2022; Prada et al., 2024). Atualmente as condições climáticas, tem sido alvo de preocupação, nomeadamente o clima mediterrâneo, que é frequentemente indutor de vários stresses abióticos, como o stress hídrico, elevada temperatura e a radiação (Dinis et al., 2022; Prada et al., 2024).

Segundo o IPMA (2018a), no primeiro ano do ensaio, a primavera classificou-se como fria e extremamente chuvosa, com valores de precipitação e temperatura superiores e inferiores ao normal, respetivamente. Já o verão classificou-se como normal, em relação à temperatura do ar e à precipitação, sendo de destacar o mês de agosto, onde o clima foi extremamente quente e excepcionalmente seco (IPMA, 2018b; IPMA, 2018c).

No segundo ano de ensaio experimental, a primavera classificou-se como quente e seca (temperatura superior ao normal neste trimestre) e com valores de precipitação inferiores ao normal comparativamente aos últimos anos (IPMA, 2019a). Entre as regiões de Portugal, destacou-se, principalmente, a região do Sul, caracterizada por uma seca severa e extrema (IPMA, 2019b). O verão classificou-se como frio e seco, com o mês de junho a apresentar uma temperatura muito baixa (sendo o mais frio desde 2000), tendo ainda a precipitação sido inferior ao normal (IPMA, 2019c).

De acordo com o IPMA (2020a), no terceiro ano de ensaio, a primavera classificou-se como muito quente em relação à temperatura do ar (ainda que normal em relação à precipitação). O verão classificou-se como quente e muito seco, com a precipitação inferior ao normal (IPMA, 2020b).

Costa et al. (2023), constatou a ocorrência de stress térmico a temperaturas do ar superiores a 35°C, levando à diminuição da síntese de metabolitos secundários, das taxas de fotossíntese e do crescimento vegetativo. Os mesmos autores (Costa et al., 2023) consideram como temperatura foliar ótima para a fotossíntese valores entre 25 e 30° C (ainda que dependendo do genótipo), sendo que os valores de temperatura média máxima dos três anos de ensaio, corresponderam em média a 28° C nos três anos (**Figuras 3.5-A, 3.28-A, 3.40-A**). Aponte-se, contudo, que no período de crescimento vegetativo dos três anos de ensaio, ocorreram valores médios máximos de temperatura superiores a 35°C, destacando-se o primeiro ano que chegou a atingir 44°C (**Figura 3.5-A**). Ao nível da precipitação total, verificou-se (IPMA, 2018a, 2019a, 2020a) que o local onde os campos estão inseridos (Palmela) foi das regiões na primavera onde ocorreram níveis de precipitação mais baixos no segundo ano de ensaio, intermédios no terceiro ano e muito altos no primeiro ano, tal com observado por todo o país de modo geral. No verão, verificou-se também (IPMA, 2018b, 2019c, 2020b) que, relativamente à precipitação anual, ocorreram níveis mais baixos no local dos terrenos (Palmela), sendo que entre os anos para a mesma região, os níveis foram superiores no primeiro ano e inferiores no último ano. Considerando os dados de precipitação obtidos neste estudo durante os três anos (**Figuras 3.5-C, 3.28-C, 3.40-C**), no período das pulverizações foliares (junho a agosto) e na região em estudo, ocorreram níveis superiores de precipitação acumulada no terceiro ano, seguido do segundo ano e por último o primeiro ano. Além disso, a humidade média do ar mínima e máxima de 38 % e 90 % neste estudo (**Figuras 3.5-B, 3.28-B, 3.40-B**), encontra-se perto do valor mínimo, e similar ao valor máximo, onde várias frutas e plantas hortícolas (humidade do ar de 50 a 90 %) exibem um crescimento ótimo (Sultan et al., 2021).

Nas últimas décadas estas diferenças ao nível do clima, principalmente a temperatura, têm levado a um avanço das fases fenológicas da videira nomeadamente, a floração, o pintor ou “*veraison*” e a maturação (Cameron et al., 2022). A videira como muitas outras culturas perenes, necessita de períodos frios e quentes para a maturação de uvas de qualidade, levando a que estas alterações no ciclo fenológico afetem o equilíbrio da composição da uva e do vinho e os respetivos rendimentos (Droulia, 2021). Atendendo a estas alterações climáticas, deve-se equacionar a existência de diferenças na evolução das vinhas e, conseqüentemente, das uvas durante os três anos de ensaio.

As videiras podem crescer em diversos tipos de solo, embora tenham de proporcionar um fornecimento de nutrientes e água suficiente para um desenvolvimento adequado (Comino et al., 2017; Shahane and Shivay, 2021). Neste sentido, a biodisponibilidade para a absorção de minerais depende

de vários fatores do solo, nomeadamente matéria orgânica, a condutividade elétrica, o pH e o teor de água. (Bravo et al., 2017; Kotsaki et al., 2020).

A matéria orgânica influencia a retenção de água e a permeabilidade dos solos, contribuindo para a quantidade de nutrientes disponíveis (Olego, 2022). Esta também é responsável por reduzir a concentração de catiões livres na solução do solo, uma vez que se podem ligar à matéria orgânica, formando complexos organo-metálicos que aumentam a fitodisponibilidade para as raízes. Um exemplo é a queima de Zn e Fe com a matéria orgânica, transformando em formas acessíveis para serem absorvidos pelas raízes, em vez de formarem complexos insolúveis *e.g.*, carbonatos e óxidos (Dhaliwal et al., 2019). Segundo Olego (2022) e Ferreira et al. (2022), um teor de matéria orgânica entre 1 - 3% foi considerado ideal e suficiente para o desenvolvimento da vinha em diversos solos. Atentando à localização dos campos experimentais (Palmela, Portugal), e o clima mediterrânico associado, teores de matéria orgânica inferiores a 2% são comuns, sendo encontrados nos solos dos campos experimentais em estudo, valores entre 1,09 – 3,14 %, admitindo-se assim teores considerados suficientes para a vinha (Olego, 2022; Ferreira et al., 2022). O campo experimental Biscaia diferenciou-se com o teor mais elevado, podendo estar relacionado com as práticas usuais e as necessidades desta casta verificadas pelos agricultores.

A nível colorimétrico, a matéria orgânica é um dos principais elementos que influencia a cor do solo, estando relacionada com cores mais escuras que indicam frequentemente um aumento de matéria orgânica decomposta (Jorge et al., 2021). De acordo com o observado por Moritsuka et al. (2019), a matéria orgânica poderá mascarar a cor de alguns minerais como os óxidos de Fe, após observar que ao diminuir a matéria orgânica os valores de a^* e b^* sofreram alterações para tons mais avermelhados ou amarelados, indicando a possível presença dos óxidos de Fe. De facto, ao observarmos os nossos dados dos parâmetros colorimétricos do solo (L , a^* e b^*), antes e após a remoção da matéria orgânica (**Tabela 3.1**), evidenciaram-se valores mais altos em todos os parâmetros, indicando uma maior luminosidade, cores mais avermelhadas e amareladas. Realça-se que o campo experimental Biscaia, como já referido, destacou-se com um teor superior de matéria orgânica e por sua vez após a queima da mesma, apresentou uma tendência para valores superiores de a^* e b^* , sugerindo a presença dos óxidos de Fe e/ou teores superiores dos mesmos relativamente aos restantes campos (**Tabela 3.1**).

As plantas adquirem os elementos minerais através da raiz, estando a taxa de absorção dependente da fitodisponibilidade dos minerais no solo (Jha e Warkentin, 2020). Isto é, embora determinados elementos minerais possam estar presentes em elevadas concentrações, estes poderão não estar disponíveis para absorção pelas plantas. De acordo com Jha e Warkentin (2020), é comum a fitodisponibilidade dos minerais nos solos ser baixa, sendo necessário nesses casos a aplicação de fertilizantes para aumentar a reserva de minerais disponíveis para o crescimento da planta. O desenvolvimento e o crescimento

adequado das plantas é dependente de 17 elementos, que podem ser absorvidos dos solos através das raízes (Kumar et al., 2021). Destes, o P, K, Ca e S, comparativamente ao Zn, Cu, Mn e Fe, são necessários em maiores proporções nas plantas (Fageria e Moreira, 2011), contudo estas proporções podem não se verificar ao nível dos elementos minerais presentes nos solos. De acordo com El-Ramady et al. (2014), os solos indicam uma prevalência de Fe (0,5 - 4,0 %), K (0,2–3%), Ca (0,2 - 1,5 %), P (0,01 - 0,1 %), sendo que, de modo geral, os dados deste estudo se inseriram nos intervalos mencionados (**Figura 3.3**). Em menor quantidade são encontrados nos solos o Zn (5 – 80 mg.kg⁻¹) e o Cu (20 - 300 mg.kg⁻¹) (Triantafyllidis et al., 2018) e S (30 – 400 mg.kg⁻¹) e Mn (40 - 850 mg.kg⁻¹) (Boudissa et al 2006; Prasad e Shivay, 2016), sendo que os dados deste estudo também se encontram dentro das proporções referidas (**Figura 3.2**). Neste estudo, após se analisarem os elementos minerais realça-se o caso do campo experimental Biscaia com um teor de Fe mais elevado (face aos restantes), sendo coincidente com o teor de matéria orgânica mais elevado e que, após a queima, revelou as cores típicas dos óxidos de Fe. Admite-se que a natureza litológica justifique a existência dos teores de Fe mais elevados (vide **subcapítulo 2.1.2**).

De acordo com Ricardo-Rodriguez et al. (2019) e Vázquez-Blanco et al. (2023), o pH do solo determina a absorção dos minerais, nomeadamente do Zn através das raízes (sendo um pH ideal entre 5,5 – 8,5). Considerando que o pH dos solos, dos quatro campos de ensaio, apresentaram valores entre 6,51–7,08 (**Tabela 3.1**), pode considerar-se que subsistiram condições favoráveis para a absorção de Zn e outros elementos minerais essenciais.

A condutividade elétrica do solo está relacionada com a salinidade, sendo constituída pela concentração dos principais iões dissolvidos na água do solo. A acumulação destes iões é o resultado de processos de evapotranspiração da planta, assim como das próprias práticas agrícolas (*e.g.*, fertilizantes) (Visconti e Paz, 2016). As videiras são classificadas como sendo moderadamente sensíveis à salinidade, apresentando um valor máximo entre 1800 e 4000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, onde já estão suscetíveis a impactos negativos (*e.g.*, o crescimento e desenvolvimento limitado e situações de toxicidade) (Martinez-Moreno et al., 2023). Neste contexto, os campos experimentais deste estudo apresentaram uma baixa condutividade elétrica (entre 72 – 186 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ - **Tabela 3.1**), não sendo assim um fator limitante para estas videiras, e contribuindo com um menor gasto de energia para a absorção de água pelas raízes, e, conseqüentemente, facilitando a absorção dos nutrientes por parte das plantas (Visconti e Paz, 2016).

A humidade do solo corresponde à água que se encontra disponível para as raízes das plantas, sendo esta nas camadas mais superficiais suscetível a variações devido à precipitação e à evaporação da água (Silva et al., 2015; Gavrilesco, 2021). Neste contexto, a percentagem de humidade dos quatro campos experimentais (**Tabela 3.1**), apresentou uma variação máxima de 2,9 %, indicando que a nível

hídrico se encontram em condições semelhantes. Ainda assim, a irrigação que assegura a humidade do solo é uma estratégia fundamental para prevenir o stress hídrico em diferentes fases de crescimento, especialmente nas condições climáticas mediterrânicas prevalentes nas vinhas estudadas.

Neste enquadramento, ao analisar-se a morfologia dos terrenos, verificou-se uma maior de infiltração de água no campo experimental Lagameças, inserindo-se na classe de]5–20 %], correspondendo a uma drenagem superficial moderada (cerca de 50 %) (**Tabela 3.43; Figura 3.26**). Embora, os restantes campos experimentais se inseriram na mesma classe [5 – 20 %], a sua percentagem de drenagem superficial é superior (**Tabela 3.43, Figura 3.26**) *i.e.*, 65 % no campo Biscaia, 64 % no campo Lau Novo e 62 % no campo Lau Velho. Apesar destas diferenças, é de destacar que o campo Lau Novo e Biscaia estiveram sujeitos a irrigação de forma a favorecer uma maior infiltração (uma vez que são vinhas implantadas em 2014, no caso do campo do Lau Novo, e 2006 no caso do campo da Biscaia). Enquanto no caso do campo Lau velho, uma vez que possui uma idade superior (vinhas implantadas a 1991), foi possível às videiras desenvolver raízes mais profundas (ao longo do tempo) potenciando uma capacidade superior de disponibilidade de água (Ma et al., 2023). Assim, pode considerar-se que se minimizaram as potenciais heterogeneidades do stress hídrico que poderiam afetar o processo de biofortificação agrónomica em Zn (aponte-se também que os campos se situam na mesma região, sendo sujeitos a um clima semelhante).

A composição física e química da água de irrigação deve ser considerada relativamente aos seus efeitos no solo e nas culturas, bem como as precauções a ter com os equipamentos utilizados na irrigação (Malakar et al., 2019; Mezlini et al., 2024). No caso do campo experimental Lau Novo (**Figuras 3.4, 3.27**), a qualidade da água permitiu a sua utilização em solos bem drenados e em plantas moderadamente tolerantes aos sais, como é o caso da vinha. Os efeitos adversos no crescimento das plantas são notados quando a água apresenta condutividade superior a $1500 \mu\text{S. cm}^{-1}$ (Suarez et al., 2019), o que não se verificou em nenhum dos campos experimentais. A água de irrigação utilizada no campo experimental Biscaia (**Figuras 3.27, 3.39**) apresentou uma menor concentração de sais e menor concentração de sódio, permitindo a sua utilização em qualquer tipo de solo e cultura. O pH da água de irrigação em ambos os campos é ligeiramente ácido (5,6 – 6,2), para o qual os micronutrientes se encontram com maior disponibilidade (*i.e.*, 5 a 6,5) (Guimarães et al., 2021).

4.2 Monitorização das Vinhas

De forma a monitorizar a resposta das vinhas à biofortificação em Zn, considerou-se o metabolismo fotossintético como um indicador da produtividade da cultura e também da capacidade de aclimação das vinhas. Complementarmente, também se avaliou o NDVI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), para obtenção de outro indicador da resposta das vinhas ao longo do ensaio experimental.

4.2.1 Trocas Gasosas Foliares

No âmbito dos estudos envolvendo trocas gasosas ao nível foliar, observaram-se ao longo dos três anos de estudo, impactos positivos no funcionamento do aparelho fotossintético, nomeadamente o aumento da taxa de fotossíntese líquida (P_n) e da taxa de condutância estomática (g_s), ainda que principalmente nas castas irrigadas (Syrah e Moscatel), evidenciando-se o fertilizante $ZnSO_4$, tanto na concentração de 900 como a de 1350 $g\cdot ha^{-1}$. A casta Syrah destacou-se pela resposta positiva à biofortificação em Zn (**Tabela 3.73**), principalmente no terceiro ano com o $ZnSO_4$ - 1350 $g\cdot ha^{-1}$, onde ocorreu um aumento do P_n em ambas as datas. Embora, de modo geral se tenha também observado nos anos precedentes aumentos de P_n , de facto, os dados sugerem que um aumento no teor de Zn poderá promover a atividade catalítica da anidrase carbónica, facilitando a difusão de CO_2 para os cloroplastos, e a regulação da absorção de HCO_3^- e K^+ pelas células guarda que controlam a abertura dos estomas, favorecendo a fotossíntese (Ahmed et al., 2009).

Como mencionado, no primeiro ano também se observaram benefícios para o parâmetro P_n e g_s , porém evidenciou-se alguma sensibilidade nas concentrações mais altas de ambos os fertilizantes de Zn (900 $g\cdot ha^{-1}$) (**Tabelas 3.3 – 3.6**), levando a um ligeiro decréscimo especialmente nas castas não irrigadas (Castelão e Fernão Pires). Nos anos subsequentes (**Tabelas 3.6, 3.48, 3.76**), de modo geral a casta Fernão Pires (não irrigada) apresentou uma manutenção do funcionamento da maquinaria fotossintética não impactando significativamente o P_n e g_s . Já na casta Castelão (**Tabelas 3.4, 3.46, 3.74**), observou-se um comportamento diferente, predominando durante os três anos de ensaio, um decréscimo do P_n e g_s . No que concerne à taxa de transpiração (E) das quatro castas (**Tabelas 3.3 - 3.6**), os valores foram similares nos três anos de ensaio, onde em ambas as datas se observaram valores similares ao controlo e, nalguns casos, valores mais baixos. De facto, quando o limiar de toxicidade do Zn na planta é atingido, pode ocorrer a diminuição do P_n e E devido à redução de g_s sem sintomas visíveis, mas causando limitações noutros processos fisiológicos e químicos (nomeadamente, na estrutura física das células dos estomas, na atividade da enzima anidrase carbónica, a par de implicações na absorção de Mg^{2+}) (Saboer et al 2021). Ainda, em todas as castas, durante os três anos, a conjugação do P_n e do E refletiu-se em valores de eficiência instantânea do uso de água ($iWUE$) similares ao controlo ou superiores com os fertilizantes de Zn (**Tabelas 3.3 - 3.6, 3.45 - 3.48, 3.73 - 3.76**). Ademais, o $iWUE$ nas castas não irrigadas (**Tabela 3.76**), nomeadamente na Fernão Pires, apresentou um aumento com o fertilizante $ZnSO_4$ - 1350 $g\cdot ha^{-1}$ e na Castelão os melhores resultados foram observados com o ZnO - 900 e 1350 $g\cdot ha^{-1}$ (**Tabelas 3.46, 3.74**).

No entanto, outros fatores, tais como temperaturas elevadas e humidade relativa baixa, podem levar à inibição da fotossíntese através do fecho gradual dos estomas, de forma a evitar a perda de água através da transpiração (Ashraf e Harris, 2013; Ramalho et al., 2013, 2020). Efetivamente, verificou-se que, em situações de seca, a aplicação de Zn pode levar ao fecho dos estomas, reduzindo mais a transpiração e, conseqüentemente, gerando um aumento do iWUE e da tolerância à seca (Khan et al., 2004). Segundo Anwar et al. (2021), estudos em plantas de grão-de-bico e trigo corroboram este efeito positivo da aplicação foliar de Zn, uma vez que se observaram resultados semelhantes refletidos pelo aumento do iWUE através da ativação de processos metabólicos e de regulação osmótica (Anwar et al., 2021). Aquando do primeiro ano de ensaio experimental, realça-se como já mencionado um agosto extremamente quente e seco, atingindo um valor máximo de temperatura de 44 °C (**Figura 3.5- A**), onde já são reportados danos na vinha (*i.e.*, 35°C), o que poderá ter contribuído para as diferenças verificadas entre os anos de ensaio e intensificado o stress hídrico nas castas não irrigadas (principalmente no primeiro ano).

4.2.2 Parâmetros de Clorofila a

Relativamente aos parâmetros de fluorescência de clorofila a , ao se analisarem as quatro castas durante os três anos do ensaio (**Tabelas 3.7 - 3.10, 3.49 - 3.52, 3.77 - 3.80**), observou-se a prevalência da manutenção da eficiência fotoquímica máxima e atual (F_v/F_m e F_v'/F_m' , respetivamente), assim como diversos parâmetros de fluorescência: o rendimento fotoquímico ($Y_{(II)}$, q_L), a necessidade de processos de dissipação de energia ($Y_{(NPQ)}$, q_N), ou a necessidade de processos de dissipação de energia não regulados ($Y_{(NO)}$), que refletem o bom funcionamento da maquinaria fotossintética.

Embora no primeiro ano de ensaio, a F_v/F_m e F_v'/F_m' do PSII tenha mostrado alguma sensibilidade à aplicação das concentrações máximas de ambos os fertilizantes de Zn aplicados (900 g.ha⁻¹) (**Tabelas 3.7 - 3.10**), não ocorreram variações relevantes, mantendo-se os valores dentro do intervalo apresentado nas videiras controlo. Como referido, o primeiro ano atingiu temperaturas severas para a vinha (**Figura 3.5-A**), podendo ter contribuído para os efeitos nas castas não irrigadas, no entanto conjugando estes dados com os dados das trocas gasosas, em geral as quatro castas mantiveram a F_v/F_m e F_v'/F_m' do PSII, ou seja, o funcionamento da maquinaria fotossintética. Embora se possa ponderar uma concentração inferior à máxima (900 g.ha⁻¹) devido ao P_n , devem ter-se em consideração todos os resultados obtidos.

No segundo ano de ensaio (**Tabelas 3.49 - 3.52**), evidenciaram-se alguns casos de potenciais efeitos positivos da biofortificação em Zn nos diversos parâmetros mencionados nas castas Syrah, Moscatel e Castelão. O potencial impacto positivo foi principalmente visualizado na segunda data (após a 4ª pulverização foliar) (**Tabelas 3.49 - 3.52**), ou seja, numa fase mais tardia do ciclo da vinha e com o

ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹. Ao nível dos parâmetros de fluorescência, que beneficiaram com os fertilizantes de Zn (**Tabelas 3.49 - 3.52**), evidenciou-se o Y_(II), q_L e o Y_(NPQ) na casta Syrah e Moscatel, o Y_(NO) na casta Moscatel e Castelão e o F_v/F_m e q_N na casta Moscatel (destacando-se a casta Moscatel com vários parâmetros a responder positivamente). De igual modo, no terceiro ano também ocorreram potenciais respostas positivas à pulverização com o ZnO e ZnSO₄ (1350 g.ha⁻¹) nas castas Castelão e Fernão Pires (**Tabelas 3.77 - 3.80**). Os parâmetros que apresentaram uma resposta positiva foram o Y_(NO), na casta Castelão e Fernão Pires e o q_N e q_L, na casta Fernão Pires (salientando-se que esta não tinha apresentado efeitos positivos visíveis no segundo ano) (**Tabelas 3.77 - 3.80**). De facto, com a aplicação de Zn tem sido reportado um efeito positivo nas reações fotoquímicas que ocorrem na membrana do tilacoide, no transporte de eletrões através do PSII e na taxa fotossintética e teor de clorofila, levando a um maior rendimento e qualidade dos frutos, como observado anteriormente para a uva e outros frutos como a tangerina e a laranja (Olsen, 1972).

Embora, também se tenham observado, de modo geral, impactos pontuais em algumas castas com algumas concentrações nos processos de dissipação de energia regulados (Y_(NPQ), q_N), nos processos de dissipação de energia não regulados (Y_(NO)) (**Tabelas 3.7 - 3.10, 3.49 - 3.52, 3.77 - 3.80**) e na eficiência máxima (F_v/F_m), em comparação com o controlo, nenhum dos casos foi consistente ao longo dos anos. No segundo ano de ensaio (**Tabela 3.51**), apenas se observaram variações, na casta Moscatel, nos parâmetros F_v/F_m e Y_(NO), respetivamente com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ e o ZnO - 1350 g.ha⁻¹ (na segunda data). Destacaram-se também neste ano, de modo geral, para a casta Moscatel, oscilações no parâmetro q_L na segunda data (incluindo o controlo). Tal como no ano precedente (**Tabelas 3.78 - 3.80**), o terceiro ano apresentou potenciais sinais de stress nas castas Moscatel, Castelão e Fernão Pires. Os parâmetros de fluorescência afetados foram o Y_(NO), na casta Castelão, na segunda data com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹, e o F_v/F_m na primeira data, na casta Moscatel, com o ZnSO₄, e Fernão Pires com o ZnO (**Tabelas 3.78 - 3.80**).

Como referido, as condições climáticas, nomeadamente as temperaturas elevadas, afetam o metabolismo fotossintético das plantas, uma vez que as membranas dos tilacóides são sensíveis ao calor e estão entre os primeiros indicadores de stress (DaMatta e Ramalho, 2006). O segundo ano caracterizou-se com um verão mais frio do que o normal, podendo justificar os efeitos positivos observados e a diminuição dos impactos nos parâmetros de fluorescência de clorofila *a* nas castas. Já o terceiro ano de ensaio (**Figura 3.40**), apresentou um verão quente, verificando-se nalgumas castas e casos pontuais uma maior dissipação de energia na primeira data avaliada, sendo que na segunda data recuperaram para valores similares ao controlo. A dissipação de energia ajuda a proteger a maquinaria fotossintética contra danos no PSII, sendo que a maioria as plantas desenvolvem estes mecanismos fotoprotetores para lidar com o excesso de energia, podendo os danos ser reversíveis, exceto em casos de stress a longo prazo

(Zhu et al., 2004). Os stresses abióticos, podem levar à formação de espécies reativas de oxigénio (ROS) em excesso, levando a perturbações no metabolismo devido aos danos causados nas proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, bem como na membrana celular (Che et al., 2020). Segundo Rehman et al. (2018) e Che et al. (2020), a aplicação de Zn nas plantas sujeitas a stresses ambientais pode contribuir para atenuar os efeitos adversos, através da atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), nomeadamente a Cu,Zn - superóxido dismutase (Cu,Zn- SOD), uma vez que esta participa na desintoxicação das ROS, via metabolismo de Halliwell - Asada.

Conjugando os resultados obtidos nos três anos de ensaio, aponta-se que as castas não irrigadas e irrigadas no segundo e terceiro ano apresentaram, principalmente, uma resposta positiva à biofortificação em Zn, conseguindo manter o normal funcionamento da maquinaria fotossintética e em muitos casos mostrar potenciais benefícios, com os fertilizantes de Zn na segunda data (fase mais tardia do ciclo). Neste sentido, considerando que o mecanismo fotoprotector é mais ativo nas fases iniciais, diminuindo à medida que o fruto se desenvolve (Greenough et al., 1997; Garrido et al., 2021), estes dados sugerem que o funcionamento da maquinaria fotossintética poderá ser prolongado na fase final do ciclo de vida da videira com o uso dos fertilizantes de Zn.

4.2.3 NDVI

Complementarmente, determinaram-se os índices NDVI que permitem monitorizar a quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa e o estado das culturas *i.e.*, doenças ou sinais de que estão sujeitas a stresses ambientais, como o stress hídrico (Anastasiou et al., 2018; Costa et al., 2020; Solano-Alvarez et al., 2022). A agricultura de precisão tem sido amplamente utilizada de forma a otimizar a produção agrícola, nomeadamente através de índices de vegetação (Radočaj et al., 2023).

No segundo ano de ensaio (**Figuras 3.32, 3.33**), após a 4^a pulverização foliar, e com todas as concentrações, observou-se, na maioria dos casos, que as videiras da uva Fernão Pires e Castelão apresentaram valores de NDVI (ou vigor da planta verde) ligeiramente inferiores às outras castas. De facto, no segundo ano de ensaio (após a 4^a pulverização foliar) (**Tabelas 3.46, 3.48**), estas castas apresentaram valores inferiores de P_n comparativamente às castas irrigadas, embora conseguindo manter o normal funcionamento do metabolismo fotossintético, corroborando com os valores de NDVI mais baixos (**Figuras 3.32, 3.33**). Contudo a diferença máxima no vigor foi de 18 %. Ademais, com o aproximar da colheita, e com uma maior concentração de antocianinas, os valores de NDVI tenderam a diminuir, o que no caso da casta tinta (Castelão) poderá ter contribuído para valores inferiores, uma vez que a altura de aquisição dos dados foi próxima da colheita e os teores de antocianinas também aumentam com a maturação (Fiorillo et al 2012; Garcia-Estevez et al., 2017; Khaliq et al., 2019). Em geral, tal como na casta Castelão, a casta Syrah (**Figura 3.33**) revelou uma diminuição dos valores de NDVI com a

aplicação dos fertilizantes de Zn, podendo neste caso, pelo que se observou nos parâmetros fotossintéticos, ser indicativo de um aumento de produtividade (onde a proporção de folha na videira é inferior à proporção do fruto), tal como observado num estudo com a casta tinta Cabernet Sauvignon (Hall e Wilson, 2013). Esta particularidade de valores de NDVI mais baixos nas uvas também foi relacionada com uma melhor qualidade para a vinificação, podendo ser vantajoso nas uvas sujeitas às pulverizações com ZnO e ZnSO₄ uma vez que apresentam valores inferiores (principalmente as castas tintas) (Tagarakis et al., 2013). Através do NDVI das videiras Moscatel (**Figura 3.33**, observaram-se valores superiores, a qual, sendo uma casta branca, também poderá indicar uma maior densidade de folhagem comparativamente às outras castas (corroborando os dados obtidos nos parâmetros fotossintéticos, como uma das castas que beneficiou dos fertilizantes de Zn).

No terceiro ano de ensaio e com as concentrações mais elevadas (1350 g.ha⁻¹) (**Figuras 3.43 - 3.44**), após a 1^a pulverização foliar, as videiras indicaram a existência de uma maior densidade de folhagem do que no segundo ano, sendo consistente com os estudos Fiorillo et al. (2012), García-Estévez et al. (2017) e Khaliq et al. (2019), onde os valores diminuem com o aproximar da colheita. Adicionalmente, nesta fase o fruto não está totalmente desenvolvido havendo mais folhagem disponível para verificar os efeitos da pulverização com o ZnO e ZnSO₄. Neste contexto, em termos globais, as quatro castas (Syrah, Moscatel, Fernão Pires e Castelão) mostraram uma resposta positiva aos fertilizantes de Zn (**Figuras 3.43, 3.44**). Tal como no segundo ano (**Figura 3.44**), a casta Moscatel apresentou valores superiores de NDVI, mas neste caso com um valor de NDVI médio/elevado (> 0,8) superior ao NDVI da parcela de controlo. De igual modo, a casta Fernão Pires e Castelão apresentaram uma resposta positiva após a aplicação do 1^o tratamento, dado que todas as parcelas apresentaram também um valor de NDVI médio/elevado (> 0,8) (**Figura 3.44**). Porém, para a casta Syrah (**Figura 3.44**), contrariamente ao segundo ano de ensaio, todas as parcelas apresentaram os valores mais baixos de NDVI médio/elevado (> 0,6), sendo ligeiramente superiores ao NDVI da parcela de controlo. Tal poderá indicar que com o aumento das aplicações ocorreu uma melhoria no vigor das próprias folhas ou na produtividade da cultura. Conjugando os dados dos parâmetros fotossintéticos, esta casta foi uma das que apresentou uma melhor resposta aos fertilizantes de Zn, ainda que nesta fase apenas tenha sido efetuada uma pulverização foliar.

De modo geral, no segundo e terceiro ano (após a 4^a e 1^a pulverização foliar, respetivamente), as quatro castas apresentaram um aumento do vigor com o uso dos tratamentos de Zn (não sendo detetado no NDVI da casta Castelão) e, entre estes, o tratamento ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ destacou-se (embora em alguns casos sejam observados valores similares com os dois tratamentos de Zn).

4.3 Quantificação e Localização Tecidual de Elementos Minerais

De forma a caracterizar a mobilização de nutrientes para as uvas, efetuou-se a quantificação de elementos minerais nas folhas, frutos e vinho (com destaque para o Zn e equacionando as relações sinérgicas e antagónicas com outros elementos minerais) e também a determinação da localização tecidual nas uvas, de forma a analisar onde existiria uma maior acumulação de Zn.

Ao nível das pulverizações foliares, estas foram realizadas com $ZnSO_4$ e ZnO , com diferentes concentrações, e considerando o período de crescimento vegetativo (Santos et al., 2020), tendo sido aplicadas após a floração entre julho e agosto (**Tabela 2.1**). De facto, segundo Praharaj et al. (2021), para efetuar a aplicação foliar observa-se uma maior mobilidade do Zn no floema durante as fases reprodutivas. Adicionalmente, o Zn através das folhas demonstrou ser rapidamente translocado do floema para as diferentes partes da planta (Fageria et al., 2009).

A biofortificação agronómica em Zn já é realizada, mas essencialmente em cereais como o trigo existindo pouca investigação na área dos frutos, nomeadamente na produção de uva biofortificada em Zn com potencial para transformação em vinho na indústria agro-alimentar, o que poderá criar um novo nicho de mercado que não é explorado em Portugal. Neste sentido, optou-se pela utilização de $ZnSO_4$, o fertilizante de Zn mais comum na literatura devido à sua solubilidade (Beig et al., 2023), e escolheu-se o ZnO como alternativa devido ao seu baixo custo, pois embora tenha baixa solubilidade foram encontrados estudos onde resultados similares aparentemente promissores foram observados com os dois tipos de fertilizantes (Lyons e Cakmak, 2012).

Segundo Martens e Westermann (1991) e Lyons e Cakmak (2012), as concentrações de Zn comumente aplicadas a nível foliar variam entre 500 a 1000 $g\cdot ha^{-1}$. Adicionalmente, outro autor aponta um limiar de toxicidade para aplicação de Zn com o $ZnSO_4$ em valores superiores ao intervalo de 1000 a 2000 $g\cdot ha^{-1}$ (Wang et al., 2020). Para os fertilizantes deste estudo optou-se por aplicar as mesmas concentrações para o $ZnSO_4$ e o ZnO , assumindo-se como relevante uma avaliação das respostas das vinhas. Relativamente às concentrações, optou-se assim por concentrações mais baixas (150 e 450 $g\cdot ha^{-1}$), uma concentração intermédia (900 $g\cdot ha^{-1}$) e uma superior (1350 $g\cdot ha^{-1}$). Este processo foi gradual e, de acordo com os resultados obtidos nos três anos de ensaio. Após os resultados do primeiro ano, optou-se no segundo ano por aumentar a concentração, uma vez que de modo geral ocorreu uma manutenção adequada do funcionamento do metabolismo fotossintético e no terceiro ano repetiu-se apenas a concentração mais alta de forma a otimizar/confirmar o itinerário de biofortificação, uma vez que revelou impactos positivos e o objetivo era aumentar o teor em Zn.

Esta abordagem da biofortificação agronómica tem ganho mais atenção com o início do programa internacional *HarvestPlus* e do seu subprojecto *HarvestZinc*, tendo já sido realizados diversos ensaios experimentais, essencialmente em trigo, arroz e milho, com aplicações foliares (HarvestPlus, 2024). De acordo com Rehman et al. (2018) a aplicação foliar de Zn em estágios posteriores do crescimento, nomeadamente a pós-floração, apresentou um aumento superior na concentração de Zn nos grãos face à fertilização no solo. De facto, a mobilidade do Zn é maior no floema do que no xilema devido ao aumento da concentração de solutos quelantes no floema (Xia et al., 2020).

4.3.1 Zinco nas Folhas, Frutos e Vinho

O Zn tem um papel essencial na produção e funcionamento de diversas enzimas e hormonas de crescimento, contribuindo para a divisão celular na frutificação (Ramos e Romero, 2016). Nas plantas, o Zn está envolvido na reprodução, contribuindo com cerca de 40 % dos fatores de transcrição, que são proteínas de ligação ao Zn necessárias para iniciar a gametogénese, a floração e o desenvolvimento floral (Rehman et al., 2018). A sua deficiência nas videiras, pode levar ao crescimento irregular das folhas jovens e a uma frutificação com pouca qualidade, embora varie consoante as castas (Ramos e Romero, 2016).

4.3.1.1 Folhas e Frutos

Ao nível das folhas, durante os três anos de ensaio (**Tabelas 3.11 - 3.18, 3.53 - 3.56, 3.81 - 3.84**), as castas Syrah, Castelão e Moscatel (seja, de acordo com o ano, após a 2^a, 3^a e 4^a pulverização dos tratamentos de Zn) apresentaram teores significativamente superiores e evidenciaram-se concentrações mais elevadas nas folhas pulverizadas com o ZnO. Por outro lado, a casta Fernão Pires no primeiro e terceiro ano (**Tabelas 3.18, 3.84**) revelou um incremento significativo de Zn face ao controlo apenas com o ZnO e no segundo ano (**Tabela 3.56**) com ambos os fertilizantes de Zn, tal como nas restantes castas. A resposta positiva ao uso de ZnO, como alternativa ao ZnSO₄, poderá ser uma vantagem, uma vez que sendo pouco solúvel é absorvido gradualmente, podendo evitar potenciais situações de toxicidade.

Esta variação é expectável, dado que, como já observado em diversos estudos, a absorção de micronutrientes apresenta uma grande variabilidade de videira para videira, dependendo do seu estado nutricional e das condições ambientais (Ramos e Romero, 2016). Além do mais, como referido no subcapítulo **1.2.3**, a absorção de nutrientes depende da espessura da superfície foliar, do número de poros e da distribuição de tricomas e estomas na superfície foliar, variando estas características com a espécie (Eichert e Goldbach, 2008; Smoleń, 2012).

Considerando um crescimento ótimo, a maioria das culturas requer nas folhas uma concentração entre 15 — 30 mg kg⁻¹_{ps} em Zn, o que pode indicar que também nas videiras não ocorrem teores limitantes deste elemento mineral (**Tabelas 3.11 - 3.18, 3.53 - 3.56, 3.81 - 3.84**) (Gupta et al., 2016). Contudo, ocorreram algumas situações que ultrapassaram o limiar de toxicidade 100 — 700 mg kg⁻¹_{ps} (embora seja um indicativo geral para diferentes culturas), no entanto varia de acordo com a espécie e genótipo e a maioria apresenta grande tolerância ao excesso de Zn (Gupta et al., 2016). Complementarmente, os dados dos parâmetros fotossintéticos e de NDVI das quatro castas, não sugerem que as plantas tenham apresentado sinais de toxicidade ao Zn. Ainda assim, a casta Castelão apresentou uma ligeira sensibilidade às aplicações de Zn no primeiro ano, podendo então indicar que estaria próximo do seu limiar de toxicidade, mas nos anos subsequentes, com concentrações mais elevadas, não se observou o mesmo impacto negativo, e subsistiu a manutenção do funcionamento do metabolismo da fotossíntese (sugerindo-se que esta sensibilidade como mencionado anteriormente, deverá estar relacionada a outros fatores como as temperaturas severas desse ano).

Ao nível do fruto, durante o desenvolvimento (**Tabelas 3.19 - 3.26**), no primeiro ano, após a 2^a e 3^a pulverização foliar, as castas Syrah, Castelão, Moscatel e Fernão Pires tenderam a apresentar valores superiores de Zn com a pulverização com ZnO e ZnSO₄, relativamente ao controlo (exceto a casta Castelão, na 3^a pulverização que, de modo geral, apresentou valores residuais). Ao nível dos fertilizantes de Zn, ocorreu uma variação entre a eficiência do aumento de Zn dentro da mesma casta e nas diferentes datas avaliadas (**Tabelas 3.19 - 3.26**), observando-se globalmente que as concentrações mais elevadas levaram a um incremento superior. À colheita (**Tabelas 3.27, 3.28, 3.30**), observou-se um aumento da concentração de Zn com as amostras pulverizadas com ZnO e ZnSO₄ relativamente ao controlo nas castas Syrah, Castelão e Fernão Pires (sendo de evidenciar que apenas na casta Castelão houve um aumento significativo com o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ de 37,7 vezes).

No segundo ano de ensaio (**Tabelas 3.57, 3.59, 3.60**), os níveis de Zn no fruto, após a 4^a pulverização foliar, para as castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires, foram na sua maioria significativamente superiores com os fertilizantes de Zn face ao controlo (exceto o ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ na casta Moscatel e o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ na casta Fernão Pires). Já a casta Castelão (**Tabela 3.58**) similarmente ao primeiro ano (após a 3^a pulverização) apresentou valores residuais. À colheita (**Tabelas 3.61- 3.64**), de modo geral, as castas com a pulverização foliar com ZnO e ZnSO₄ aumentaram os teores de Zn face ao controlo. No entanto, só nas castas Syrah e Castelão ocorreram aumentos significativos relativamente ao controlo (**Tabelas 3.61 - 3.62**), nomeadamente de 2,3 vezes com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ (Syrah) e com o ZnO e ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ de 3,8— 4,3 vezes (Castelão), relativamente ao controlo.

No terceiro ano de ensaio (**Tabelas 3.85 - 3.87**), o teor de Zn no fruto, após a 2ª pulverização foliar com o $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$, apresentou um valor superior ao controlo na casta Syrah e com o $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ na casta Castelão e Moscatel (sendo que não foi significativo no caso da casta Moscatel). A casta Fernão Pires (**Tabela 3.88**), de modo geral, apresentou valores residuais. À colheita (**Tabelas 3.89 - 3.92**), todas as castas apresentaram um aumento nos teores de Zn com a aplicação de ambos os fertilizantes ZnO e ZnSO_4 , sendo significativo com o $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$, relativamente ao controlo na casta Syrah (1,2 vezes) e Fernão Pires (1,6 vezes). Adicionalmente, a casta Moscatel apresentou um teor de Zn superior com o $\text{ZnO} - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ (embora não sendo significativo). Por contraste, a casta Castelão apresentou teores significativamente superiores ao controlo com o $\text{ZnSO}_4 - 1350 \text{ g.ha}^{-1}$ (1,7 vezes) (**Tabela 3.90**).

Equacionando as folhas e os frutos em desenvolvimento e à colheita, verificou-se alguma heterogeneidade na eficiência de ambos os fertilizantes de Zn na mesma casta. Como já mencionado noutros estudos, estes dados corroboram que existe uma grande variabilidade nas diferentes castas. Ademais, observou-se que o aumento do teor em Zn não foi linear com o aumento da concentração de ZnSO_4 e ZnO (apesar de no segundo e terceiro ano se verificarem maioritariamente teores superiores de Zn com as concentrações de 900 e 1350 g.ha^{-1}) e também que a eficiência do ZnO e ZnSO_4 nas diferentes castas variou anualmente. Concordantemente, outros estudos com pulverizações foliares de Zn também sugeriram que os aumentos das concentrações não são lineares e que a eficácia está relacionada com as características do fertilizante utilizado (*e.g.* solubilidade e pH), a fase do ciclo da planta em que são realizadas as pulverizações e o número de pulverizações (Xia et al., 2020; Ojeda-Barrios et al., 2023). Neste estudo o ZnO evidenciou uma eficiência similar ao ZnSO_4 , apesar de ter uma baixa solubilidade. Adicionalmente, observou-se em quatro genótipos diferentes de batata uma maior eficiência do ZnO no aumento dos teores de Zn relativamente ao ZnSO_4 (White et al., 2017). As diferenças na eficiência entre ambos os fertilizantes de Zn, pode estar relacionada com as diferentes vias que estas fontes químicas podem seguir, nomeadamente no âmbito de compostos hidrófobos e hidrófilos, processos de dissolução-difusão e através de lesões no tecido da cutícula, estruturas epidérmicas como os estomas, tricomas e células epidérmicas especializadas, respetivamente (Doolette et al., 2018).

Aquando da pulverização foliar, existem outros fatores que contribuem para a variabilidade na deposição dos fertilizantes, nomeadamente a nível climático, sendo o vento um dos principais fatores, a humidade relativa, uma vez que pode levar à secagem e cristalização na superfície da folha, e a precipitação após a pulverização foliar do fertilizante, podendo levar à remoção de parte do fertilizante (Fageria et al., 2009). Além de que, os iões são absorvidos pelos estomas das folhas e quando estes estão abertos a absorção foliar é mais fácil (Fageria et al., 2009), também se torna imperativo para um maior incremento de Zn, que as condições climáticas sejam as adequadas. Neste sentido, no primeiro ano, face às

condições climáticas verificadas, poderá ter ocorrido uma relevante interferência no processo de absorção dos fertilizantes, pois foi o ano que ocorreu uma maior variação a nível do aumento de Zn face ao aumento das concentrações. Segundo Fageria et al. (2009), depois da pulverização é essencial haver pelo menos 3 a 4 horas para que o nutriente aplicado seja absorvido pelas folhas da planta fertilizante. Adicionalmente, deve considerar-se o fator humano, uma vez que as pulverizações foliares são realizadas manualmente e a quantidade de produto pulverizado não irá incidir da mesma forma em todas as zonas das folhas e frutos, o que contribui para a existência de uma maior variabilidade entre as castas e os valores de Zn.

Existem diversos estudos de fertilização em Zn efetuados na Turquia, principalmente em culturas de cereais (milho, sorgo, cevada e trigo) e dicotiledóneas (soja, ervilha, feijão comum e canola), sendo que nos grãos de trigo se observou um aumento máximo de 3 vezes (Valença et al., 2017). Segundo o mesmo autor, outros estudos de dez países africanos demonstraram que a aplicação de fertilizantes de Zn a nível foliar, aumentavam o teor em Zn nos grãos de milho, arroz e trigo, entre 1,3 – 1,6 vezes. Outros estudos na China, Índia, RDP do Laos, Tailândia e Turquia, durante 2 anos, com aplicação foliar da solução 0,5% (m/v) $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (duas vezes) também apresentaram valores semelhantes, com um aumento de Zn entre 1,1 – 1,7, em amostras de arroz não descascado, integral e branco (Phattarakul et al., 2012; Das et al., 2018). Adicionalmente, um estudo no Paquistão em morangos, recorrendo a concentrações de 33, 66 e 99 $mg \cdot L^{-1}$ de Zn (equivalente a 100, 200 e 300 $mg \cdot L^{-1}$ de $ZnSO_4$), antes do início da floração, levou a um aumento com a concentração crescente de Zn nos frutos de morango, aumentando o teor em Zn entre 1,2–1,9 vezes. Além do mais, com o aumento de Zn também se observou um aumento do número de folhas, do número e peso dos bagos e do peso fresco das plantas de morangueiro (Bhatti et al., 2021). Neste contexto, é possível ver a eficiência da biofortificação em Zn em diferentes culturas, modos e concentrações do produto aplicado, no entanto de modo geral, os resultados são similares aos aumentos observados neste estudo, sendo de evidenciar que seria importante estudos em videiras.

Em termos da acumulação de Zn a nível tecidual na uva, a análise de espectroscopia dispersiva de energias de raios X (SEM-EDS), no primeiro ano de ensaio (**Figuras 3.7 - 3.10**) apresentou uma acumulação heterogénea nas quatro castas, não sendo conclusiva. Porém, na casta Syrah e Castelão (**Figuras 3.7, 3.8**), parece haver um enriquecimento preferencial em Zn na zona interna da película. Já nas castas brancas (Moscatel e Fernão Pires), salienta-se um possível enriquecimento preferencial de Zn na zona periférica da película (**Figuras 3.9, 3.10**).

Complementarmente recorreu-se a um sistema de fluorescência de dispersão de raios-X de micro-energia (μ -EDXRF M4 Tornado™) em uvas à colheita (**Figura 3.11**), definindo-se duas regiões, sendo

a 1ª localizada na zona limítrofe da película (após desidratação) e a 2ª nas grainhas destas castas. No primeiro ano, pela visualização dos mapas tecidulares (**Figura 3.11**), verificou-se um incremento de Zn com a aplicação de ambos os fertilizantes de Zn (ZnO e ZnSO₄) na casta Syrah, Castelão e Fernão Pires. Neste sentido, procedeu-se à quantificação de Zn na película de cada casta, verificando-se que a casta Syrah e Fernão Pires (**Tabela 3.31**), com os fertilizantes de Zn (até à concentração máxima de 900 g.ha⁻¹), destacaram-se com valores significativamente superiores face ao controlo, variando os incrementos entre 1,6 a 2,5 vezes. Na película da casta Castelão (**Tabela 3.31**) observou-se, para os teores de Zn, um incremento nas amostras pulverizadas com o ZnO e ZnSO₄, embora apenas significativo nas concentrações mais altas (900 g.ha⁻¹). Já na película da casta Moscatel (**Tabela 3.31**), só a amostra com o fertilizante ZnSO₄ - 150 g.ha⁻¹ apresentou um aumento significativo (sendo 1,4 vezes superior ao teor do controlo), sendo que, de modo geral, os restantes valores foram inferiores ao controlo. Adicionalmente, realizou-se a quantificação nas grainhas das quatro castas (**Tabela 3.32**), verificando-se no caso da casta Syrah e Fernão Pires incrementos entre 1,5 a 3,1 vezes (exceto o ZnO - 150 g.ha⁻¹ e o ZnSO₄- 900 g.ha⁻¹ na casta Fernão Pires). Para as grainhas da casta Castelão (**Tabela 3.32**) ocorreu um aumento significativo nas amostras pulverizadas com concentrações mais elevadas do ZnO (450 e 900 g.ha⁻¹), alcançando incrementos de 1,3 a 1,7 vezes. Considerando o teor de Zn na grainha da casta Moscatel (**Tabela 3.32**), observou-se um aumento significativo com o fertilizante ZnSO₄ nas concentrações mais elevadas - 450 e 900 g.ha⁻¹, com teores 1,4 a 2,1 vezes superiores ao controlo (embora não sendo significativos a maioria dos valores são superiores ao controlo).

De modo geral, os valores encontrados na película e grainha (**Tabelas 3.31, 3.32**), indicaram uma predominância da acumulação do Zn na película em todas as castas, tal como observado em (Ramos e Romero, 2016) na casta de uva Cabernet Sauvignon, em dois campos distintos à colheita, também sujeita ao clima mediterrânico. Adicionalmente, Ramos e Romero (2016), embora com outro método de análise, observaram teores de Zn na polpa superiores aos da grainha. Neste enquadramento, segundo sugere Rogiers et al. (2006), após a fase do pintor os elementos minerais acumulam-se maioritariamente na película e polpa, contribuindo assim para maiores teores nestes tecidos.

4.3.1.2 Vinho

No caso do vinho, no primeiro ano de ensaio (**Tabela 3.42**), analisou-se o teor em Zn nas duas concentrações mais elevadas, sendo que após a microvinificação com as uvas sujeitas aos fertilizantes de Zn se observaram teores de Zn superiores nos vinhos. No entanto, os mesmos apenas foram significativamente mais elevados nas castas Moscatel e Fernão Pires (**Tabela 3.42**). Complementarmente, as castas tintas evidenciaram o maior teor em Zn com o fertilizante ZnO e as castas brancas com o ZnSO₄ (**Tabela 3.42**). No terceiro ano de ensaio, após a microvinificação, verificaram-se teores em Zn

significativamente superiores em todos os vinhos elaborados com as castas sujeitas aos fertilizantes de Zn (exceto a casta Moscatel que só aumentou com o ZnO) (**Tabela 3.42**). Os maiores incrementos de Zn observaram-se com o ZnO na casta Syrah e Moscatel e com o ZnSO₄ na casta Castelão e Fernão Pires (**Tabela 3.42**). Em geral, os vinhos portugueses apresentam baixos teores de Zn entre 0,16 - 1,96 mg.L⁻¹ (Catarino et al., 2002), sendo que nos dados do terceiro ano apresentaram, nalguns casos, valores superiores e nos restantes (incluindo o primeiro ano) dentro do intervalo mencionado do teor de Zn nos vinhos portugueses (**Tabela 3.42**). Acresce que ocorreu a biofortificação do vinho em Zn sem ultrapassar o limiar de toxicidade indicado pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) de 5 mg.L⁻¹ de Zn (OIV, 2019).

Estes resultados variáveis do primeiro para o terceiro ano são expectáveis, de acordo com a variabilidade verificada nas uvas ao longo dos três anos, e pelos fatores já mencionados anteriormente. Adicionalmente, a quantidade de Zn nos vinhos também depende da intensidade da maceração, extração e solubilização durante a fermentação, uma vez que o Zn na uva a nível tecidual, acumula-se de forma heterogênea (Catarino et al., 2002).

Globalmente, as técnicas mencionadas de quantificação do Zn confirmam que a biofortificação agronómica em Zn foi concretizada, no entanto é sujeita a fatores que causam alguma heterogeneidade, ainda que prevalecendo teores elevados nas concentrações mais altas. Desta forma, a implementação deste itinerário técnico para produção de vinho tinto e branco a partir destas uvas, poderia ser efetuado com recurso a *blends*, equilibrando as uvas com teores mais elevados com outras de menor concentração ou mesmo o controlo. Assim, independentemente da variabilidade existente, garantia-se uma concentração que fosse sempre possível alcançar e disponibilizar ao consumidor.

4.3.2 Outros Elementos Minerais nas Folhas, Frutos e Vinho

A par da quantificação em Zn, também foram analisados outros elementos minerais relevantes, considerando as interações do Zn com outros elementos minerais e a influência no processo de biofortificação agronómica em Zn.

4.3.2.1 Folhas

De acordo com Veloso et al. (2022), os valores de referência para folhas de videira (referidos à matéria seca a 100 - 105 °C) na época de plena floração são os seguintes: Ca (1,30 – 2,80 %), K (1,50 – 2,50 %), P (0,20 – 0,40 %), S (0,10 – 0,30 %) e Fe (40 – 300 mg.kg⁻¹).

Durante o desenvolvimento da videira (**Tabelas 3.11 - 3.18, 3.53 - 3.56, 3.85 - 3.88**), de modo geral, nos três anos de ensaio, a tendência foi similar a Veloso et al. (2022) relativamente aos elementos

minerais predominantes, exceto no caso do S que na sua maioria apresentou teores superiores ao P. O primeiro ano de ensaio, apresentou os valores mais elevados de S (**Tabelas 3.11 - 3.18**), sendo de evidenciar que no primeiro ano foram utilizadas concentrações mais baixas de ZnO e ZnSO₄.

Relativamente ao Ca (**Tabelas 3.11, 3.13 3.15, 3.17**), no primeiro ano, realça-se que após a 2^a pulverização foliar, as castas Syrah, Castelão e Moscatel apresentaram valores significativamente superiores nas folhas sujeitas aos fertilizantes de Zn, por oposição à Fernão Pires onde o controlo apresentou um valor superior. Embora, após a 3^a pulverização (**Tabelas 3.12, 3.14, 3.16, 3.18**), não existirem diferenças significativas nos teores de Ca nas quatro castas. No segundo ano de ensaio (**Tabelas 3.53, 3.55, 3.56**), após a 4^a pulverização foliar, as castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires apresentaram valores de Ca significativamente mais elevados em todas as amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn face ao controlo. Por oposição, na casta Castelão, relativamente ao controlo (**Tabela 3.54**), apenas o fertilizante ZnSO₄ revelou teores significativamente superiores. No terceiro ano de ensaio (**Tabelas 3.81 - 3.84**), após a 2^a pulverização foliar, na casta Castelão e Fernão Pires foram encontrados níveis de Ca significativamente inferiores no controlo, relativamente às amostras pulverizadas com os fertilizantes de Zn. Por oposição, a casta Moscatel apresentou valores significativamente superiores no controlo comparativamente às amostras sujeitas aos fertilizantes de Zn (**Tabela 3.83**). Na casta Syrah (**Tabela 3.81**), as amostras com ZnSO₄ e o ZnO apresentaram o maior e menor teor em Ca, respetivamente (sendo significativos face ao controlo). Ao longo dos três anos, prevaleceram teores de Ca superiores ao mencionado por Veloso et al. (2022), sendo que houve uma tendência para valores maiores no primeiro ano (2,02 – 6,22%) face aos restantes (2,35 – 4,65 %). Aponte-se que outros autores (Köse et al., 2016) observaram diferenças no Ca ao longo das fases do ciclo vegetativo da videira, apresentando nas fases da recolha das folhas deste estudo (entre a floração e a fase do pintor) um intervalo de valores entre 1,24 – 3,36 % na casta *Vitis labrusca* L. Este intervalo, assemelha-se aos dados obtidos neste estudo e são relativos à mesma fase do ciclo (Köse et al., 2016). Ademais, de acordo com Martins et al. (2012), o Ca nas uvas aumenta até à fase do pintor, podendo seguir-se uma diminuição em algumas castas. Ao nível do limite de toxicidade nas folhas, considerando culturas não tolerantes, o Ca não poderia ultrapassar os 10%, sendo um valor muito superior aos dados deste estudo (White e Brown, 2010). Considerando a influência da biofortificação foliar em Zn, diversos autores relatam o efeito antagónico do Ca com o Zn em diferentes culturas como o arroz, cevada e amendoim, onde um aumento de Ca levou à redução de Zn (Prasad et al., 2016). Porém, essa interação antagónica não se evidenciou neste estudo, levando a pulverização com o ZnO e o ZnSO₄ na sua maioria, a teores mais elevados de Ca.

No caso do K (**Tabela 3.11**), no primeiro ano, após a 2^a pulverização foliar na casta Syrah, prevaleceram teores significativamente mais elevados no controlo relativamente às amostras pulverizadas com ZnO e ZnSO₄. Na casta Moscatel e Fernão Pires, após a 2^a pulverização (**Tabelas 3.15, 3.17**),

na sua maioria os valores não variaram significativamente. Já a casta Castelão e Moscatel, após a 2^a e 3^a pulverização (**Tabelas 3.13, 3.16**), respetivamente, não revelaram uma tendência clara. Após a 3^a pulverização foliar na casta Syrah, Castelão e Fernão Pires (**Tabelas 3.12, 3.14, 3.18**) não se revelaram diferenças significativas. No segundo ano (**Tabelas 3.53 - 3.56**), o K, após a 4^a pulverização foliar nas quatro castas, apresentou teores significativamente mais elevados com os fertilizantes de Zn comparativamente ao controlo. No terceiro ano (**Tabelas 3.81 - 3.83**), após a 2^a pulverização foliar, os teores de K na casta Syrah e Moscatel, eram mais elevados com o ZnSO₄ face ao controlo. Por contraste, a casta Castelão e Fernão Pires (**Tabelas 3.82 - 3.84**) apresentaram teores de K significativamente mais elevados com o fertilizante ZnO face ao controlo. Ao longo dos três anos evidenciaram-se diferenças significativas no segundo e terceiro ano, com as amostras pulverizadas, com os fertilizantes de Zn a revelarem um maior teor de K. Relativamente aos teores de referência do K, entre 1,50 – 2,50 % (Veloso et al., 2022), ao longo dos três anos, nas castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires a maioria apresentou valores dentro do intervalo (**Tabelas 3.11 – 3.18, 3.53 - 3.56, 3.85 - 3.88**). Já a casta Castelão (**Tabelas 3.13 - 3.14, 3.54, 3.86**) no primeiro e terceiro ano, apresentou teores superiores de K face aos valores de referência (sendo que o máximo alcançado foi de 4,28 %). De acordo com Martins et al. (2012), o K varia ao longo do ciclo vegetativo da videira, sendo que existe um aumento gradual em todas as fases e mais evidente a partir do pintor (note-se que este estudo abrange recolhas desde a floração à fase do pintor), podendo justificar diferenças nos dados, uma vez que as folhas foram recolhidas em diferentes fases. Segundo White e Brown (2010), o limite de toxicidade para o K nas folhas, considerando culturas não tolerantes, é de valores > 5 %, sendo que os nossos valores são inferiores, evitando-se potenciais situações de toxicidade nas folhas. A nível celular o K é também essencial para a ativação de enzimas, processos de transporte membranar, manutenção do potencial membranar (neutralização aniónica) e regulação do potencial osmótico (Martins et al., 2012). Adicionalmente, o K também tem sido relacionado como sendo um elemento de referência para a resistência da videira a alguns agentes patogénicos (Sala et al., 2024). Após o itinerário aplicado de biofortificação em Zn a nível foliar, verificou-se a ausência de impactos negativos visíveis, sendo que alguns casos apresentaram teores de K superiores com a pulverização dos fertilizantes de Zn. Similarmente, foi sugerida uma resposta positiva entre o Zn e o K, podendo dever-se ao papel do Zn a integridade das membranas das plantas, tal como observado em diversas culturas (*i.e.*, tomate, trigo, maçã), já que quando a planta tem deficiência em Zn ocorre um aumento da exsudação de K⁺, enquanto que com aplicação de Zn ocorre a redução da exsudação (Prasad et al., 2016).

No que respeita ao P, este foi quantificado no primeiro e terceiro ano (**Tabelas 3.11 – 3.18, 3.85 - 3.88**). No primeiro ano, após a 2^a pulverização foliar, na casta Syrah, Castelão e Moscatel (**Tabelas 3.11, 3.13, 3.15**) observaram-se, de modo geral, valores de P significativamente superiores nas folhas pulverizadas com ZnO e ZnSO₄ relativamente ao controlo (sendo que na Castelão só se observou com

nas amostras com o ZnO). Na casta Fernão Pires (**Tabela 3.17**), após a 2ª pulverização foliar não se verificou uma tendência clara. Após a 3ª pulverização foliar (**Tabelas 3.12, 3.14, 3.16, 3.18**), os teores de P na sua maioria, não revelaram variações significativas entre as amostras das quatro castas analisadas. No terceiro ano (**Tabelas 3.85, 3.86, 3.88**), após a 2ª pulverização foliar, na casta Syrah, Castelão e Fernão Pires os valores de P foram significativamente superiores nas folhas com os fertilizantes de Zn relativamente ao controlo. Na casta Moscatel apenas o fertilizante ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ apresentou um valor significativamente superior ao controlo (**Tabela 3.87**). Conjugando os dados obtidos durante os três anos, o limite de toxicidade para o P nas folhas de culturas não tolerantes deverá corresponder a > 1 % (White e Brown, 2010), sendo que os valores deste estudo são inferiores, ou seja, pode considerar-se que não apresentam perigo de toxicidade nas folhas. No primeiro ano a maioria dos valores encontrava-se dentro do intervalo de referência de 0,20 – 0,40 % (Veloso et al., 2022), exceto um valor pontual de 0,80 % com o ZnSO₄ - 450 g.ha⁻¹ na casta Fernão Pires. Já no terceiro ano, todos os valores de P se encontravam ligeiramente abaixo do mínimo do intervalo de referência (**Tabelas 3.85 - 3.88**), com valores entre 0,10 – 0,18 %. Outros autores, verificaram efeitos antagónicos onde teores elevados de Zn afetaram a absorção de P e o contrário também (elevados teores de P a influenciarem na absorção de Zn), no milho, arroz e batata (Prasad et al., 2016). De facto, no terceiro ano as concentrações do ZnO e ZnSO₄ são superiores às do primeiro ano, podendo ter levado a uma diminuição dos teores de P, embora o controlo também tenha apresentado teores inferiores aos restantes tratamentos e aos de referência, sugerindo não haver antagonismo. Além do mais, como referido anteriormente, a fase de recolha das folhas de referência (Veloso et al., 2022) é diferente, sendo que no terceiro ano deste estudo foi, em julho, correspondente, por norma, à fase do pintor, onde já foi observada uma retranslocação do P das folhas para outros órgãos, como os cachos, ocorrendo respetivamente um aumento e uma descida de P nos cachos e folhas (Gerós et al., 2012). Tal, indica que os valores de P nas folhas podem não estar diretamente relacionados com uma deficiência em P, uma vez que os restantes dados não apontam para uma inibição no crescimento.

Relativamente ao S (**Tabela 3.11**), no primeiro ano, após a 2ª pulverização foliar, na casta Syrah, observaram-se maioritariamente valores de S significativamente superiores nas folhas com os fertilizantes de Zn. Na casta Castelão (**Tabela 3.13**), após a 2ª pulverização foliar, não existiu uma tendência clara, no entanto o controlo possui um valor superior. As castas Moscatel e Fernão Pires, após a 2ª pulverização foliar, não apresentaram diferenças significativas nos teores de S (**Tabelas 3.15 e 3.17**). Já após a 3ª pulverização foliar, nas quatro castas (**Tabelas 3.12, 3.14, 3.16, 3.18**), os valores das amostras biofortificadas em Zn, na sua maioria, não apresentaram diferenças significativas face ao controlo. No segundo ano (**Tabelas 3.53, 3.55**), o S, após a 4ª pulverização foliar, nas castas Syrah e Moscatel, apresentou teores significativamente mais elevados com os fertilizantes de Zn. Para os teores de S na casta Castelão (**Tabela 3.54**), não se observaram diferenças significativas entre os fertilizantes de ZnSO₄

e o controlo. Já na casta Fernão Pires (**Tabela 3.56**), na sua maioria, os níveis de S das amostras com ZnO e ZnSO₄ face ao controlo não variaram de forma significativa. No terceiro ano (**Tabelas 3.85, 3.86, 3.88**), após a 2ª pulverização foliar, na casta Syrah, Castelão e Fernão Pires observaram-se teores significativamente mais elevados nos fertilizantes de Zn. Já a casta Moscatel não apresentou diferenças significativas entre o controlo e a amostra com ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹(**Tabela 3.87**). Considerando os valores de referência para o S entre 0,10 – 0,30 % (Veloso et al., 2022), o segundo ano apresentou valores dentro do intervalo referido, no entanto no primeiro e terceiro ano os valores foram superiores variando entre 0,38 - 1,41% e 0,32 – 0,52%, respetivamente (**Tabelas 3.11- 3.18, 3.53 -3.56**). Como observado no segundo e terceiro ano (**Tabelas 3.53, 3.55, 3.56, 3.85, 3.87,3.88**), nas castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires é usual, durante o ciclo de produção das videiras, a aplicação de fertilizantes contendo S (*cf. Anexo A.1*), variando a aplicação entre junho e julho, indicando uma contribuição do aumento de S verificado. Adicionalmente, já foram demonstradas relações sinérgicas e antagónicas entre o aumento de Zn e o S, ainda que dependendo da cultura (Prasad et al., 2016), sendo que os dados deste estudo sugerem a ausência de um impacto negativo, e eventualmente apontando potencialmente para uma relação sinérgica (considerando o primeiro e terceiro ano). O S é um elemento mineral importante, estando envolvido em diversas funções na planta, como a produção de açúcar, assimilação de dióxido de carbono, fixação de azoto e formação de proteínas (Zenda et al., 2021). Além disso, também foi observado que sem o teor de S adequado as culturas não atingem o máximo rendimento, qualidade e teor de proteínas (Zenda et al., 2021).

No caso do Fe (**Tabelas 3.11-3.18**), no primeiro ano, após a 2ª e 3ª pulverização foliar, as quatro castas de modo geral, não apresentaram diferenças significativas. No segundo ano (**Tabelas 3.53, 3.55, 3.56**), após a 4ª pulverização foliar, a casta Syrah, Moscatel e Fernão Pires apresentaram valores de Fe significativamente mais elevados nas folhas pulverizadas com ZnO e ZnSO₄. Por oposição, a casta Castelão (**Tabela 3.54**), não revelou diferenças significativas. No terceiro ano (**Tabelas 3.95, 3.97**), após a 2ª pulverização foliar, foram encontrados níveis baixos de Fe em todas as castas (limite de deteção do Fe = 25 mg.kg⁻¹), só sendo possível detetar alguns valores na casta Castelão e Fernão Pires. Ao longo dos três anos, os valores de Fe na sua maioria encontraram-se dentro do intervalo de referência de 40 – 300 mg.kg⁻¹ (Veloso et al., 2022). Diversos autores observaram uma relação antagónica entre o Zn e o Fe (Prasad et al., 2016), sendo que no terceiro ano só se aplicou a concentração mais elevada, podendo assim ter existido alguma inibição do Fe, ainda que dependa da videira e da sua taxa de absorção. Conjugando os dados obtidos, maioritariamente o primeiro ano apresenta valores de Fe superiores (**Tabelas 3.11-3.18**) e o segundo e o terceiro ano valores similares (**Tabelas 3.53 - 3.56, 3.94 – 3.97**) (sendo que nalguns casos do segundo ano, com os tratamentos mais elevados, observaram-se teores semelhantes ao primeiro ano). Adicionalmente, no segundo ano a concentração mais alta também foi aplicada e verificaram-se, após a 4ª pulverização, teores de Fe significativamente superiores (em três castas) com os

fertilizantes de Zn (logo, não indicando uma inibição do Fe pelo Zn nesse ano) (**Tabelas 3.53 - 3.56**). Considerando os fatores que variaram nos três anos de estudo, a nível climático no segundo e terceiro ano, no verão os valores de precipitação foram inferiores ao normal, no entanto, o terceiro ano caracterizou-se como um verão quente e muito seco face ao segundo que foi frio e seco (IPMA, 2018b; IPMA, 2019c; IPMA, 2020b), podendo ter dificultado a absorção do Fe. Segundo van Leeuwen et al. (2019), o aumento da temperatura pode induzir valores mais elevados de evapotranspiração e, juntamente com um menor nível de precipitação, torna a videira suscetível a um desequilíbrio hídrico. O ferro é um elemento importante para múltiplas funções na planta, incluindo a transferência de eletrões e a síntese de clorofila (Mohammed et al., 2021).

4.3.2.2 Frutos

De acordo com Grace et al. (2023), observou-se num estudo com 29 genótipos de uva originários de várias partes do mundo (Europa, EUA, Rússia e Índia), uma grande variabilidade entre os valores das diferentes castas, encontrando-se os seguintes intervalos de valores: K (0,99 – 2,98 %), Ca (0,23 – 1,21 %), Mg (200 – 5800 mg.kg⁻¹), P (0,15 – 0,51%), Fe (31,97 -159,1 mg.kg⁻¹) e Cu (12,56 -43,62 mg.kg⁻¹). Segundo Hatterman-Valenti et al. (2024), valores de 0,64 % para o S foram encontrados em uvas à colheita, sendo que até à fase do pintor variaram entre 0,38 -0,58 %. Contudo, também se podem visualizar outros valores em estudos de diferentes países, nomeadamente 0,04 - 0,05 % de S à colheita, aspeto que aponta para uma variabilidade intraespecífica (Menezes et al., 2013).

Considerando os elementos minerais nos frutos durante o desenvolvimento, nos três anos de ensaio, estes seguem a mesma ordem mencionada em Grace et al. (2023) e Hatterman-Valenti et al. (2024), sendo a seguinte: K (0,99 – 2,98 %), Ca (0,23 – 1,21 %), S (0,38 -0,58 %) e P (0,15 – 0,51 %). À colheita, é possível verificar, nalguns casos, grandes variações, como no caso do Ca, com valores muito inferiores, comparativamente aos frutos durante o desenvolvimento.

No caso do Ca no primeiro ano (**Tabelas 3.21, 3.22, 3.25, 3.26**), a casta Castelão e Fernão Pires após a 2^a pulverização foliar, apresentaram um aumento de Ca com os fertilizantes de Zn. Por outro lado, na 3^a pulverização foliar, o oposto foi observado (embora de modo geral esta diminuição não seja significativa). Na casta Syrah (**Tabelas 3.19 - 3.20**), os teores de Ca aumentaram com os fertilizantes de Zn, em ambos os períodos analisados. Já a casta Moscatel (**Tabelas 3.23, 3.24**), demonstrou uma diminuição no Ca com a pulverização dos fertilizantes de Zn (embora na maioria não sendo significativo). No primeiro ano à colheita (**Tabelas 3.27 - 3.30**), os teores de Ca não variaram significativamente nas castas Syrah e Fernão Pires. Já a casta Castelão (**Tabela 3.28**) apresentou teores de Ca ligeiramente inferiores com os fertilizantes de Zn, não havendo na maioria dos casos diferenças significativas. Na casta Moscatel (**Tabela 3.29**), não houve uma tendência clara entre os teores de Ca e os fertilizantes de

Zn. Similarmente ao que foi observado nas folhas, este estudo na maioria das castas não evidenciou uma inibição do Ca por parte do Zn. Um estudo em grãos de milho, revelou que a concentração de N, K, Ca e Fe, Zn, Mn aumentou através da aplicação foliar de Ca, o que sugere um potencial efeito sinérgico, ainda que dependendo da situação e do status de elementos minerais da cultura entre o Zn e o Ca (Naeem et al., 2017). No segundo ano (**Tabelas 3.57- 3.59**), após a 4ª pulverização foliar, ocorreu uma diminuição nos teores de Ca com os fertilizantes de Zn nas castas Syrah, Castelão e Moscatel (exceto com o ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ na casta Castelão). Na casta Fernão Pires não houve uma tendência clara (**Tabela 3.60**). Embora não seja significativo nalguns casos, e o controlo não apresente o valor significativamente mais elevado nas castas Castelão, Moscatel e Fernão Pires, evidenciando-se o ZnSO_4 , outros fatores podem ter contribuído para a diminuição dos valores. No entanto, pode ter ocorrido uma ligeira inibição, tal como reportado em Prasad et al. (2016) no arroz, cevada e amendoim. No segundo ano à colheita (**Tabelas 3.61 – 3.63**), os níveis de Ca foram superiores com os fertilizantes de Zn nas castas Syrah, Castelão e Moscatel (sendo significativamente superiores na casta Moscatel). Já na casta Fernão Pires (**Tabela 3.64**), os teores de Ca foram inferiores com os fertilizantes de Zn (sendo significativo com o ZnSO_4). Tal, corrobora os dados do primeiro ano, onde é sugerido um potencial efeito sinérgico entre o Zn e o Ca, tal como observado noutro estudo como mencionado (Naeem et al., 2017). No terceiro ano (**Tabela 3.86 - 3.87**), após a 2ª pulverização foliar, os teores de Ca aumentaram com o fertilizante ZnSO_4 - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ na casta Castelão e Moscatel e com o ZnO - $1350 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ na casta Fernão Pires. Já na casta Syrah (**Tabela 3.85**), os teores de Ca foram significativamente inferiores com os fertilizantes de Zn. No terceiro ano à colheita (**Tabelas 3.89 - 3.92**), o comportamento do teor de Ca nas quatro castas diferiu, sendo que na casta Syrah aumentou com os fertilizantes de Zn, na casta Castelão diminuiu apenas no ZnSO_4 , na casta Moscatel não variaram e na casta Fernão Pires diminuíram com os fertilizantes de Zn.

Assim, durante o fruto em desenvolvimento e com a técnica de fluorescência de raio-X observa-se na maioria uma relação sinérgica, embora pelos dados da colheita com a técnica de espectrometria de absorção atômica terem ocorrido casos que no momento da colheita e com mais aplicações, exibiram uma ligeira inibição entre o Zn e o Ca como observado noutros estudos (Prasad et al., 2016). Equacionando a distribuição do Ca pelos tecidos da uva (película e grainha), através da técnica de $\mu\text{-EDXRF}$ (**Tabelas 3.33, 3.34**) foi possível verificar também uma tendência de teores de Ca superiores com os fertilizantes de Zn na película (no entanto novamente não sendo linear com a concentração).

De facto, realça-se a variabilidade dos dados obtidos consoante a casta, o ano e a técnica utilizada, não seguindo uma tendência linear (Xia et al., 2020), não tornando possível confirmar que existiu uma relação antagónica devido aos diversos fatores que já foram mencionados. Adicionalmente, de acordo com Grace et al. (2023), ao longo do desenvolvimento da uva nos três anos (**Tabelas 3.19 - 3.26, 3.57**

- **3.60, 3.85 - 3.88**), a maioria dos valores de Ca em todas as castas encontra-se dentro do intervalo mencionado entre 0,23 – 1,21%. Considerando os frutos à colheita durante os três anos de estudo (**Tabelas 3.27 - 3.30, 3.61 – 3.64, 3.89 - 3.92**), os resultados dos teores de Ca foram inferiores aos mencionados por Grace et al (2023), embora estes tenham sido analisados por espectrometria de absorção atômica, o que, como mencionado, poderá ter contribuído para as diferenças observadas. O Ca possui funções relevantes para a uva, nomeadamente na manutenção da integridade do fruto com funções estruturais na parede celular e nas membranas, ajudando a proteger contra agressões externas e regulando o tempo de maturação (Martins et al., 2012).

Relativamente ao K, no primeiro ano (**Tabelas 3.19 - 3.22, 3.25 - 3.26**), nas castas Syrah, Castelão e Fernão Pires, observou-se uma tendência para teores de K superiores com os fertilizantes de Zn (sendo que na casta Syrah foi mais evidente com o ZnO na 3ª pulverização foliar). Aponte-se ainda que reportou-se que estes aumentos não eram sempre lineares com a concentração, tal como observado e mencionado anteriormente em Xia et al. (2020). Na casta Moscatel verificou-se uma tendência diferente (**Tabelas 3.23 - 3.24**), com valores de K superiores no controlo, após a 2ª pulverização foliar, embora na 3ª pulverização foliar os teores tenham aumentado nas concentrações mais elevadas (450 e 900 g.ha⁻¹). No primeiro ano à colheita (**Tabelas 3.27, 3.29, 3.30**), os teores de K nas castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires aumentaram na maioria das amostras biofortificadas em Zn (sendo em muitos casos significativo na casta Fernão Pires). Na casta Castelão (**Tabela 3.28**), só os valores das amostras com ZnSO₄ (450 e 900 g.ha⁻¹) levaram a um aumento dos teores de K, os restantes foram inferiores ao controlo, embora não existam diferenças significativas. Considerando o fruto em desenvolvimento e à colheita, evidenciou-se uma tendência para o aumento de K com os fertilizantes de Zn, sugerindo uma possível relação sinérgica, tal como observado nas folhas (vide subcapítulo **4.3.2.1**), (Prasad et al., 2016). No segundo ano, na casta Syrah e Moscatel (**Tabelas 3.57, 3.59**), os teores de K diminuíram com os fertilizantes de Zn (exceto com o ZnO - 900 g.ha⁻¹). Já nas castas Castelão e Fernão Pires (**Tabelas 3.58, 3.60**), os teores de K aumentaram com os fertilizantes de Zn, sendo que no caso da Castelão foi superior nas concentrações mais altas (900 g.ha⁻¹ de ZnO e ZnSO₄). A casta Syrah (**Tabela 3.57**), na maioria, não apresentou variações significativas. Na casta Moscatel (**Tabela 3.59**), os teores de K na maioria foram inferiores com os fertilizantes de Zn (embora não sendo significativo). Conjugando os dados obtidos durante o desenvolvimento do fruto e à colheita, pode ter ocorrido em duas castas uma ligeira inibição, sendo que à colheita não se evidenciou uma inibição notória do K e, considerando que as castas que aumentaram com o Zn, persistiram com essa tendência na colheita. Essa ligeira inibição também pode ser relacionada com os níveis de Ca, que aumentaram nalguns casos com os fertilizantes de Zn, uma vez que o Ca e o K geralmente possuem uma relação antagónica (Marques et al., 2018). No terceiro ano (**Tabelas 3.85 - 3.86**), as castas Syrah e Castelão apresentaram teores superiores em K com os fertilizantes de Zn (sendo que no caso da casta Syrah foi apenas com o ZnSO₄ e na casta Castelão este apresentou o maior valor

de K). Por oposição, na casta Fernão Pires, com a pulverização de ZnO e ZnSO₄, os teores de K foram significativamente inferiores (sendo que o ZnO tinha um teor superior em K face ao ZnSO₄) (**Tabela 3.88**). Na casta Moscatel, apesar de não existir uma tendência clara (**Tabela 3.87**), o ZnSO₄ apresentou um teor superior em K face ao ZnO. No terceiro ano à colheita (**Tabelas 3.90 - 3.92**), os teores de K aumentaram com os fertilizantes de Zn nas castas Castelão, Moscatel e Fernão Pires (sendo significativo na casta Fernão Pires com o ZnSO₄-1350 g.ha⁻¹). Já na casta Syrah (**Tabela 3.89**), os valores de K foram inferiores com os fertilizantes de Zn, ainda que não significativos. Considerando a distribuição do K pelos tecidos da uva (película e grainha) através da técnica de μ -EDXRF (**Tabelas 3.33- 3.34**) foi possível verificar, também na película, uma tendência de teores superiores de K na maioria das amostras biofortificadas em Zn (não sendo linear com a concentração como já referido).

Como mencionado, embora possa ter existido uma ligeira inibição nalgumas castas e em determinadas fases, na maioria os valores obtidos pela técnica de espectrofotometria de fluorescência de raios-X indicam a ausência de inibição do K por parte do Zn, assim como os dados da técnica de μ -EDXRF (**Tabelas 3.33, 3.34**), predominando uma tendência sinérgica tal como descrito em Prasad et al. (2016).

De acordo com Grace et al. (2023), os valores de K na uva variam entre 0,99 – 2,98 %, sendo que durante os três anos de estudo, ao longo do desenvolvimento da uva (exceto à colheita), a maioria dos valores encontra-se dentro do intervalo mencionado (**Tabelas 3.19 – 3.26**).

À colheita, durante os três anos de ensaio (**Tabelas 3.27 - 3.30, 3.61 – 3.64, 3.89- 3.92**), os resultados dos teores de K foram inferiores aos mencionados por Grace et al. (2023), reforçando-se que estes foram analisados com outra técnica potenciando as diferenças observadas neste estudo (como mencionado para o Ca). Neste âmbito, valores adequados de K são importantes uma vez que este é o principal catião nos bagos maduros, determinando o seu pH e regulando as taxas de transporte no floema, assim como a translocação dos assimilados (Martins et al., 2012).

Considerando o P (**Tabelas 3.19 - 3.22, 3.25, 3.26**), este foi determinado no primeiro ano durante o desenvolvimento do fruto (após a 2^a e 3^a pulverização foliar), observando-se teores de P superiores com os fertilizantes de Zn nas castas Syrah, Castelão e Fernão Pires (exceto na 3^a pulverização foliar na casta Castelão, embora não sendo significativo). Na casta Moscatel (**Tabelas 3.23 - 3.24**), os valores de P, na maioria, diminuíram significativamente com os fertilizantes de Zn, mas na 3^a pulverização aumentaram (embora não significativamente). No primeiro ano à colheita (**Tabelas 3.61 - 3.64**), o comportamento dos teores de P nas castas em estudo diferiu, sendo que na casta Syrah se evidenciou o ZnSO₄, na casta Castelão não houve variações significativas, na casta Moscatel os valores de P foram superiores com o ZnO e na Fernão Pires não foram detetados. De facto, segundo Prasad et al. (2016) elevados teores de Zn levam a efeitos inibitórios na absorção do P, aspecto que foi observado noutras culturas.

No entanto, considerando os resultados deste estudo, as concentrações aplicadas não indicaram a ocorrência de uma relação antagônica do Zn com o P, uma vez que na, sua maioria, os valores ou são superiores ou, após a biofortificação em Zn, mantêm-se semelhantes.

Adicionalmente, foi possível realizar a determinação do P à colheita no segundo e terceiro ano. No segundo ano à colheita (**Tabelas 3.61 - 3.64**), os teores de P foram superiores com os fertilizantes de Zn na casta Castelão e Fernão Pires. A casta Syrah não apresentou variações significativas nos teores de P (**Tabela 3.61**). Já a casta Moscatel (**Tabela 3.63**), revelou valores de P inferiores com os fertilizantes de Zn. No terceiro ano à colheita (**Tabelas 3.89, 3.90**), os valores de P foram superiores com os fertilizantes de Zn nas castas Syrah e Castelão, embora não sendo significativos. A casta Moscatel (**Tabela 3.91**), apresentou teores de P significativamente superiores com o ZnO - 1350 g.ha⁻¹. Já na casta Fernão Pires (**Tabela 3.92**), os teores de P foram significativamente inferiores com os fertilizantes de Zn. Paralelamente ao primeiro ano, e com concentrações superiores (**Tabelas 3.89 – 3.92**), no terceiro ano, de modo geral, os resultados não evidenciaram uma inibição do P. Equacionando a distribuição do P na película e grainha através da técnica de μ -EDXRF, no primeiro ano (**Tabelas 3.31, 3.32**) foi possível verificar que não existe uma tendência clara, não sendo detetado na maioria dos casos.

Ao nível dos valores de P, durante os três anos do ensaio, nas quatro castas, em todas as fases analisadas, de modo geral encontram-se no intervalo entre 0,15 – 0,51%, já observado noutros estudos com diferentes castas (Grace et al., 2023). Relativamente aos valores do fruto à colheita, durante os três anos de estudo (**Tabelas 3.27 - 3.30, 3.61 – 3.64, 3.89 – 3.92**), realça-se que no primeiro e segundo ano, os valores na maioria se encontraram dentro do intervalo mencionado por Grace et al. (2023). Já no terceiro ano (**Tabelas 3.89 – 3.92**), os valores foram inferiores ao intervalo referido, embora como mencionado nos outros elementos, tenha sido realizado com uma técnica diferente contribuindo assim para a variabilidade dos valores. Por sua vez, o P é um elemento mineral essencial na uva para a iniciação, manutenção e diferenciação dos cachos, sendo um componente essencial dos ácidos nucleicos, os fosfolípidos e o ATP (Martins et al., 2012).

No caso do S, este foi determinado durante o desenvolvimento do fruto, sendo que no primeiro ano (**Tabelas 3.19 – 3.26**), os valores aumentaram com os fertilizantes de Zn nas quatro castas. No segundo ano (**Tabela 3.57**), após a 4^a pulverização foliar, na casta Syrah a maioria dos valores de S foram inferiores com os fertilizantes de Zn (embora não sendo significativo). Na casta Castelão e Fernão Pires (**Tabelas 3.58, 3.60**), ocorreu um aumento dos teores de S com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ e ZnO - 1350 g.ha⁻¹, respetivamente. Já a casta Moscatel (**Tabela 3.59**), não apresentou uma tendência clara da influência dos fertilizantes de Zn. No terceiro ano (**Tabelas 3.86, 3.88**), após a 2^a pulverização foliar, observou-se um aumento de S com os fertilizantes de Zn, nas castas Castelão e Fernão Pires (no caso

da Fernão Pires apenas foi observado com o ZnO). Na casta Syrah (**Tabela 3.85**) os teores de S foram superiores no controlo. Já a casta Moscatel (**Tabela 3.87**), não apresentou variações significativas com os fertilizantes de Zn. De facto, tal como nas folhas com os fertilizantes de Zn, na sua maioria nos três anos de ensaio sugere-se que ocorre uma relação de sinergismo, tal como já observado noutros estudos, ainda que se deva salientar que tal pode variar com a cultura (Prasad et al., 2016). Considerando a distribuição do S na película e grainha, com recurso à técnica de μ -EDXRF (**Tabelas 3.31, 3.32**) não se constatou uma tendência clara, não sendo detetado na maioria dos casos.

Considerando os valores observados por Menezes et al. (2013) e Hatterman-Valenti et al. (2024), dependendo da casta, existem diferentes valores, sendo que nestes estudos os mais baixos variavam entre 0,04 - 0,05% e os mais altos entre 0,38 - 0,64%. Ao longo dos três anos, destacou-se o primeiro ano com valores de S oscilando entre 0,12 - 0,40% (**Tabelas 3.19 - 3.30**) e os dois anos seguintes com valores entre 0,038 - 0,13% (**Tabelas 3.57 - 3.64, 3.85 - 3.92**), corroborando a variabilidade existente deste elemento mineral, sendo de salientar a pulverização de fertilizantes contendo S, tal como referido no ponto anterior (*cf.* **Anexo A.1**).

Outros elementos também foram determinados à colheita (**Tabelas 3.85 - 3.92**), nomeadamente o Fe, Mg e o Cu. Nos três anos em estudo, à colheita (**Tabelas 3.27 - 3.30, 3.61 - 3.64, 3.89 - 3.92**), o Fe não apresentou variações significativas nas quatro castas. Equacionando a distribuição do Fe na película através da técnica de μ -EDXRF (**Tabela 3.31**) verificou-se também, na maioria das amostras, uma tendência de teores superiores de Fe com os fertilizantes de Zn (não sendo linear com o aumento da concentração). Os valores de Fe deste estudo, nos três anos de ensaio e nas quatro castas (**Tabelas 3.27 - 3.30, 3.61 - 3.64, 3.89 - 3.92**) estão em concordância com Grace et al. (2023), onde o Fe variou entre 31,97 - 159,1 mg.kg⁻¹.

Relativamente ao Mg (**Tabelas 3.27 - 3.30, 3.61 - 3.64, 3.89 - 3.92**), nos três anos de estudo à colheita, não se verificaram diferenças significativas nas quatro castas (exceto na casta Syrah com o ZnSO₄ no primeiro e terceiro ano). Conjugando a distribuição do Mg pelos tecidos da uva (película e grainha) através da técnica de μ -EDXRF (**Tabelas 3.33 - 3.34**) também se verificou uma tendência de teores superiores de Mg com os fertilizantes de Zn na casta Castelão e Syrah na zona da película (não havendo relação com o aumento da concentração). Segundo Grace et al. (2023), foram encontrados teores de Mg entre 200 - 5800 mg.kg⁻¹, sendo que os teores do primeiro e segundo ano se encontravam dentro do intervalo mencionado (**Tabelas 3.27 - 3.30, 3.61 - 3.64**), porém o terceiro ano apresenta valores ligeiramente inferiores (**Tabelas 3.89 - 3.92**).

No caso do Cu (**Tabelas 3.27, 3.29 - 3.30, 3.61, 3.63 - 3.64, 3.89, 3.91 - 3.92**), em geral não se perspetivaram diferenças significativas nas castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires. Já a casta Castelão

(**Tabelas 3.28, 3.62, 3.90**), apresentou valores significativamente superiores com os fertilizantes de Zn (exceto no primeiro ano onde existiram apenas diferenças significativas com o ZnSO₄). Em geral, só nesta última casta parece ter ocorrido uma interação positiva entre o Zn e o Cu, tal como referido por outros autores (Rietra et al., 2017). Ao analisar a distribuição do Cu na película através da técnica de μ -EDXRF (**Tabelas 3.31 - 3.32**), após a pulverização com o ZnSO₄ e ZnO, destacou-se na maioria das amostras uma tendência para teores superiores de Cu (não sendo linear com o aumento da concentração). Complementarmente, diversos estudos reportam valores para o Cu entre 12,56 - 43,62 mg.kg⁻¹ (Grace et al., 2023), sendo que os dados dos três anos do ensaio se inserem nesse intervalo.

No seguimento destes resultados, tal como nas folhas, é possível verificar uma grande heterogeneidade entre a absorção dos diferentes elementos minerais entre as castas e também entre os anos de ensaio. Adicionalmente, as técnicas de análise utilizadas, nalguns casos, levaram a resultados parcialmente diferentes, sendo importante considerar este fator. Aponte-se ainda que através do μ -EDXRF (**Tabelas 3.31 - 3.34**) se corrobora esta heterogeneidade, uma vez que o Mn, Fe e Cu predominam tendencialmente na grainha, proliferando o Mg e K na película, enquanto que o Ca varia entre a grainha e a película, evidenciando-se assim uma grande variabilidade entre as proporções nos tecidos das amostras dentro da mesma casta.

4.3.2.3 Vinho

A quantificação do Fe, Mg, Cu, Ca e K (exceto o Zn) no vinho foram determinados no terceiro ano. No caso do Fe, verificaram-se teores significativamente inferiores no vinho produzido com as uvas pulverizadas com os fertilizantes de Zn nas castas Syrah, Castelão e Fernão Pires (**Tabelas 3.100, 3.101, 3.103**). A casta Moscatel por oposição (**Tabela 3.102**), apresentou valores de Fe significativamente superiores com o vinho das uvas pulverizadas com o ZnO e ZnSO₄. Relativamente ao Mg, observaram-se teores significativamente inferiores no vinho das uvas biofortificadas em Zn, nas castas Castelão e Fernão Pires (**Tabelas 3.101, 3.103**). A casta Syrah por sua vez, não revelou variações significativas e, por outro lado, a casta Moscatel aumentou significativamente os teores de Mg no vinho das uvas pulverizadas com os fertilizantes de Zn (**Tabelas 3.100 - 3.102**). Considerando o Cu, verificaram-se tendências diferentes nas quatro castas (**Tabelas 3.100 - 3.103**). Para o Ca, verificaram-se valores superiores no vinho controlo das castas Fernão Pires e Castelão (**Tabelas 3.101, 3.103**). Já na casta Syrah e Moscatel, os teores de Ca aumentaram com os fertilizantes de Zn (no caso da Moscatel só com o ZnO) (**Tabelas 3.100 - 3.102**). No caso do K (**Tabelas 3.100 - 3.103**), após a biofortificação das uvas das castas em estudo, todos os vinhos demonstraram um aumento dos teores de K.

Verificou-se, assim, que no vinho, se refletiram os níveis de elementos minerais das uvas utilizadas na vinificação, sendo de considerar as respetivas perdas ao longo do processo e os fatores já

mencionados, como a intensidade da maceração e extração, a par da solubilização durante a fermentação (Catarino et al., 2002). Neste contexto, no vinho produzido com as castas, independentemente das perdas associadas, prevaleceu a mesma tendência observada nos elementos minerais das folhas e dos frutos.

4.4 Peso fresco, Peso seco e Teor de humidade

Segundo Almanza-Merchán et al. (2014), ao nível da humidade das uvas para vinificação, foram descritos como sendo ideais valores entre 70 a 85 %. A percentagem de peso seco nos primeiros dois anos de ensaio, não revelou alterações significativas nas quatro castas (**Tabelas 3.35 - 3.38, 3.65 - 3.68**). Assim, constatarem-se valores de humidade nas uvas compreendidos entre 75,2 - 83,7% (**Tabelas 3.35 - 3.38, 3.65 - 3.68**) conforme o intervalo mencionado por Almanza-Merchán et al. (2014). Já no terceiro ano, não houve alterações significativas na percentagem de peso seco das uvas da casta Fernão Pires e Moscatel (**Tabelas 3.93 - 3.96**), mas pelo contrário na casta Syrah e Castelão com os fertilizantes de Zn perspectivou-se um aumento da humidade (no caso da Castelão só sendo significativo com o ZnO). Todavia, verificou-se que os teores superiores de humidade nas uvas, ainda que tenham permanecido dentro do intervalo de referência (Almanza-Merchán et al., 2014), oscilaram entre 70,3 – 80,2% (embora tenha existido um valor ligeiramente inferior de 68,1% na casta Syrah com o ZnO).

Relativamente ao peso fresco dos cachos e densidade das uvas à colheita, nos três anos de estudo, não ocorreram variações significativas após a biofortificação em Zn (**Tabelas 3.35 - 3.38, 3.65 - 3.68, 3.93 - 3.96**). Conjugando os resultados do peso fresco e da percentagem de peso seco (com uma variação máxima de 15 %) dentro da mesma casta, sugere-se que possivelmente os cachos sejam semelhantes, ou contenham bagos com um volume superior, ou com maior quantidade de bagos. Adicionalmente, Rolle et al. (2015) verificou na casta *Merlot Hamburg* que densidades superiores a 1088 kg.m⁻³ poderiam ter vantagens nutracêuticas e sensoriais, sendo que a maioria das uvas deste estudo possuem valores superiores nos três anos de ensaio experimental (principalmente as uvas pulverizadas com os fertilizantes de Zn).

4.5 Parâmetros Colorimétricos

A cor é uma característica importante na qualidade do vinho, influenciando a aceitabilidade por parte do consumidor, sendo que nos vinhos é um dos atributos mais importantes (Gómez-Míguez et al., 2007). Na fase do pintor, a alteração da cor das uvas é acompanhada por mudanças físicas devido à maturação (*i.e.*, os bagos tornam-se túrgidos e ganham alguma elasticidade e amolecimento devido à perda de rigidez das paredes celulares da pele e da polpa) (Trad et al., 2017). Ainda durante o pintor, à medida que o fruto amadurece, as clorofilas degradam-se e as antocianinas e carotenoides aumentam

gradualmente. Adicionalmente, as uvas, dependendo da sua posição no cacho, podem apresentar diferentes graus de maturação consoante a exposição solar, o que poderá justificar algumas variações observadas (**Figuras 3.12 - 3.14, 3.34 - 3.36, 3.45 - 3.47**).

No caso das uvas tintas, as antocianinas são responsáveis pela cor e as suas proporções podem influenciar a cor final (Liu et al., 2023). A biossíntese das antocianinas, apresenta uma atividade ideal com temperaturas entre 17 °C a 26 °C (sendo que temperaturas superiores a 35°C podem levar à degradação das antocianinas ou inibir a acumulação) (Rouxinol et al., 2023). Estes pigmentos acumulam-se essencialmente na película das uvas e dependem de alguns fatores como a variedade, as condições climáticas e a fase do ciclo vegetativo (Olivares et al., 2017). Relativamente às uvas brancas, Rustioni et al. (2015) sugerem que a cor resulta da inativação da biossíntese das antocianinas, da proporção de degradação de clorofilas e carotenoides e de um aumento da atividade oxidativa devido à maturação, levando à cor amarelada destes frutos.

Nos três anos de ensaio experimental (**Figuras 3.12, 3.13, 3.34, 3.35, 3.45, 3.46**), de modo geral, os parâmetros L, a* e b* na película não apresentaram variações relevantes após a biofortificação em Zn. O parâmetro L nas fases mais precoces de desenvolvimento, revelou uma luminosidade similar nas castas tintas e brancas (com alguns casos onde as castas brancas se foram destacando com valores superiores). Por outro lado, à colheita, distinguem-se valores de L mais baixos nas castas tintas relativamente às castas brancas (**Figuras 3.12, 3.13, 3.34, 3.35, 3.45, 3.46**). Complementarmente, prevaleceu a diminuição dos valores de L (**Figuras 3.12, 3.13, 3.34, 3.35, 3.45, 3.46**) em ambos os tipos de casta, desde as fases de desenvolvimento até à colheita (exceto nalguns casos no segundo ano, uma vez que a última recolha foi realizada numa fase próxima da colheita).

Relativamente ao parâmetro a* (**Figuras 3.12, 3.13, 3.34, 3.35, 3.45, 3.46**), o comportamento das castas brancas difere das tintas, uma vez que numa fase inicial de desenvolvimento os bagos apresentam coloração a tender para o verde, mas na colheita só permanecem com esta coloração as castas brancas (embora com menor intensidade). Contudo, no primeiro ano deste estudo (**Figuras 3.12, 3.13**), o parâmetro a* apresentou, após a 2ª e 3ª pulverização foliar, uma tendência para tons avermelhados em ambos os tipos de castas. Neste contexto, salienta-se a presença de carotenoides nas uvas que intervêm nas plantas para proteger de stresses ambientais, sendo maioritariamente constituídos pela luteína e β -caroteno que conferem tons amarelados a avermelhados (Giovanelli e Brenna, 2007; Chen et al., 2017; Anić et al., 2024). Conforme referido, no primeiro ano de ensaio, as temperaturas ultrapassaram o limite dos valores máximos toleráveis para a videira (**Figura 3.5 - A**), podendo ter ocorrido um stress térmico. De facto, os carotenoides acumulam-se com temperaturas elevadas e durante a formação dos bagos, correspondendo ao período onde esse comportamento foi observado nas castas brancas (Anić et al., 2024).

Relativamente às castas tintas (**Figuras 3.12, 3.34, 3.45**), observou-se durante o desenvolvimento, uma transição do verde para valores perto do eixo (considerados neutros) à colheita, exceto no segundo ano, onde como já mencionado o comportamento foi similar nas amostragens devido à proximidade das datas.

No caso do parâmetro b^* , nas castas brancas (**Figuras 3.13, 3.35, 3.46**), permaneceram em todas as fases tonalidades amarelas. Já as castas tintas (**Figuras 3.12, 3.34, 3.45**), revelaram valores próximos do eixo, tal como observado no parâmetro a^* .

De acordo com Liang et al. (2011), os valores encontrados neste estudo são parecidos com as tonalidades de uva vermelho-preto e azul-preto, encontradas em 29 castas diferentes, com valores variáveis (negativos e positivos) muito próximos dos eixos no caso do parâmetro a^* e b^* . As cores das castas tintas deste estudo apresentaram visualmente uma cor escura, sendo que o teor de antocianinas está relacionado com a tonalidade escura da película (Ranganath, 2022). As antocianinas contribuem para diversas cores, nomeadamente a cor laranja, rosa, vermelha, azul e púrpura das uvas, sendo que o conteúdo total de antocianinas é muito variável nas uvas com coloração mais escura (He et al., 2010; Liang et al., 2011). Liu et al. (2023), também verificou que a cor dos frutos era determinada por várias componentes, tornando-se difícil utilizar apenas os valores do L, a^* e b^* para comparar a qualidade dos frutos de diferentes castas.

Adicionalmente, à colheita também se utilizou a espectrofotometria de varrimento na região do visível do espectro eletromagnético para determinar parâmetros colorimétricos. Tal como referido por Baiano et al. (2012), nas castas brancas predominou um máximo a cerca de 500 nm, (*i.e.*, 550 nm neste estudo) (**Figuras 3.14- C e D, 3.36 – C e D, 3.47 – C e D**), sendo o comprimento de onda de reflexão dos pigmentos de clorofila e responsável por conferir a cor verde-amarela das uvas. Nas castas tintas, o máximo observado neste estudo também corroborou o estudo mencionado por Baiano et al. (2012), com um intervalo entre 660 – 700 nm (*i.e.*, 650 nm neste estudo) (**Figuras 3.14- A e B, 3.36 – A e B, 3.47 - A e B**) que corresponde às bandas de reflexão das antocianinas, sendo responsável pela cor vermelha nas uvas.

As proporções dos pigmentos nas uvas tintas e brancas vão determinar a cor, sendo que no primeiro caso as antocianinas são responsáveis pelas variações de cor (uma vez que podem conferir diferentes tonalidades e ocultar a contribuição de outros pigmentos), enquanto no segundo caso a nível dos pigmentos só dependa da proporção de clorofila e carotenoides maioritariamente (Rocchi et al., 2016). Assim, como de modo geral não se observaram variações relevantes com a biofortificação em Zn, sugere-se que as proporções relativas se mantiveram, sendo um fator relevante pois irá influenciar a cor do vinho (Underhill et al., 2020).

4.6 Parâmetros Nutricionais

4.6.1 Açúcares Solúveis

À colheita, após a biofortificação em Zn com ambos os fertilizantes, verificou-se de modo geral a ausência de impactos negativos nos valores de sólidos solúveis totais (**Tabelas 3.39, 3.69, 3.97**). De acordo com Trad et al. (2017), em diferentes castas de *Vitis*, o intervalo de açúcares solúveis totais varia entre 13,7 - 31,5 °Brix, o que efetivamente foi observado nestes estudo durante os três anos (**Tabelas 3.39, 3.69, 3.97**). Além disso, considera-se que um vinho de maior qualidade, deverá deter valores entre 22 - 28 °Brix (Ryugo, 1993; Almanza et al., 2014), verificando-se neste particular que neste estudo prevaleceram valores mais altos com a biofortificação em Zn comparativamente ao controlo.

A fotossíntese é o processo responsável pela produção de fotoassimilados para toda a planta, nomeadamente os glícidos (*e.g.*, açúcares) (Garrido et al., 2023). De facto, considerando os dados de trocas gasosas foliares e os parâmetros de clorofila *a* neste estudo, que sugeriram potenciais efeitos positivos a nível do metabolismo fotossintético (essencialmente nas castas irrigadas, Syrah e Moscatel) verificaram-se valores significativamente superiores de sólidos solúveis totais na casta Syrah (nos três anos), Moscatel (no primeiro e segundo ano) e Fernão Pires (apenas no segundo ano). Adicionalmente, corroborando também estes dados, a casta Castelão não apresentou aumentos significativos no teor de sólidos solúveis totais, e também foi a casta que apresentou uma maior sensibilidade ao nível fotossintético nos três anos, impactando o P_n . Deve, contudo, realçar-se que maioritariamente não houve um decréscimo relevante a nível do teor de sólidos solúveis total em todas as castas, durante os três anos de estudo.

A acumulação e composição dos açúcares nas uvas vai decorrendo durante a maturação, e pode ser influenciada por fatores climáticos e práticas agrícolas (Jordão et al., 2015). Após a colheita, aferiram-se três açúcares na uva, a saber sacarose, glucose e frutose (**Figuras 3.15, 3.37, 3.48**). De facto, a sacarose, a glucose e a frutose são os principais açúcares da uva, sendo importantes na aceitabilidade do consumidor devido à sua influência no teor de açúcar, síntese de ácidos orgânicos e fenólicos, propriedades sensoriais, concentração de álcool e compostos aromáticos (Trad et al., 2017; Zhang, 2021; Walker et al., 2021). Na videira, a sacarose é a principal forma de glícidos que é utilizada no transporte a longa distância através do floema, sendo que os bagos de uva dependem deste recurso para o seu crescimento e desenvolvimento (Silva et al., 2017). Após a fase do pintor, ocorre uma acumulação acentuada de glucose e frutose, decorrente da hidrólise da sacarose nos bagos de uva (Silva et al., 2017).

Os níveis de sacarose observados neste estudo (**Figuras 3.15, 3.37, 3.48**) com baixos teores (no primeiro ano), ou mesmo valores residuais (nos dois anos seguintes), são concordantes com Silva et al.

(2017), que refere o decréscimo deste açúcar e a formação de glucose e frutose até plena maturação. Tal como nos estudos de Trad et al (2017) e Zhang (2021), foram observados teores de glucose e frutose com concentrações mais elevadas relativamente à sacarose e similares entre si (**Figuras 3.15, 3.37, 3.48**). Após a pulverização foliar com os fertilizantes de Zn (**Figuras 3.15, 3.37, 3.48**), não predominaram variações relevantes nos três anos de estudo. Em geral, as uvas sujeitas às pulverizações foliares com ZnSO₄ e ZnO mostraram uma tendência para um teor de açúcar mais elevado nos três anos de ensaio experimental (sendo de realçar principalmente as castas irrigadas, *i.e.*, Syrah e Moscatel) (**Figuras 3.15, 3.37, 3.48**). Embora, na casta Castelão se tenham observado teores de açúcar total superiores no controlo (principalmente no segundo e terceiro ano) (**Figuras 3.37, 3.48**). Estes dados, juntamente com os efeitos a nível fotossintético e os teores de açúcares solúveis totais, sugerem um impacto positivo após a pulverização foliar com os tratamentos de Zn nas castas Syrah, Moscatel e Fernão Pires.

4.6.2 Ácidos Gordos

No que concerne aos AGT durante os três anos de estudo (**Tabelas 3.40; 3.98**), de modo geral não foram encontradas variações no primeiro e terceiro ano (exceto neste último com valores superiores na casta Syrah após as pulverizações foliares com ZnO e ZnSO₄). Já no segundo ano (**Tabela 3.70**), evidenciaram-se teores de AGT superiores nas castas Moscatel e Syrah, relativamente à casta Castelão e Fernão Pires, e na mesma casta não se evidenciaram diferenças significativas relativamente ao controlo (exceto na casta Castelão com o ZnSO₄ - 1350 g.ha⁻¹ a apresentar um valor superior).

Relativamente ao perfil dos AG nas videiras controlo, ao longo dos três anos (**Tabelas 3.40, 3.70, 3.98**), verificaram-se nas quatro castas variações nas percentagens, tendo como AG mais abundantes o C18:2, o C16:0 e C18:3 e, em menor quantidade, o C18:0 e C18:1. De facto, a composição dos AG pode variar com as condições de maturação, a variedade da uva, o ano de colheita e a localização geográfica (Kapsándi et al., 2021; Szabó et al., 2021), sendo que geralmente os AGT são constituídos por cerca de 90% de AG mono e polinsaturados (Kapsándi et al, 2021; Sabra et al., 2021). Efetivamente, neste estudo a proporção de AG mono e polinsaturados é superior nas uvas face aos AG saturados, embora sendo inferior (**Tabelas 3.40 3.70, 3.98**) aos 90 % referidos, podendo depender da técnica utilizada ou dos fatores já referidos (*i.e.*, maturação, ano de colheita, localização geográfica, entre outros).

Após a biofortificação em Zn, no primeiro e segundo ano, apesar de se observarem variações nas percentagens de AG (**Tabelas 3.40, 3.70**), não ocorreram alterações no perfil das videiras biofortificadas. Embora, seja de realçar no terceiro ano (**Tabela 3.98**), na casta Fernão Pires, face às outras castas, um teor de C16:0 superior ao C18:3. Adicionalmente, os AG < C16 estão presentes em percentagens inferiores na casta Fernão Pires, sendo mais abundantes nas restantes castas (**Tabelas 3.40, 3.70, 3.98**).

Ainda assim, as variações observadas não alteraram significativamente os valores de DBI nos três anos de estudo e nas quatro castas (**Tabelas 3.40, 3.70, 3.98**), indicando a manutenção da estabilidade do grau de insaturação dos lípidos. No entanto, é de salientar que no terceiro ano, se observou um DBI mais baixo em Fernão Pires (**Tabela 3.98**), o que reflete as diferenças atrás referidas no perfil de AG (maior percentagem de C16:0 e menor de C18:3 relativamente às outras castas). Esta menor insaturação poderá estar relacionada com o amadurecimento rápido das uvas desta casta, tendo sido a primeira a ser colhida. Outros fatores, nomeadamente o processamento tardio dos bagos já muito maduros, poderá também facilitar a ocorrência de reações de lipoperoxidação e a degradação dos lípidos, o que explicaria o teor mais baixo de AGT e a menor abundância dos dois ácidos gordos polinsaturados (C18:2 e C18:3).

Comparativamente a outros autores (Vašeková et al., 2020), os teores de C18:3 foram mais elevados neste estudo, embora níveis altos deste AG já tenham sido relacionados como um potencial fator positivo na vinificação, uma vez que são precursores de constituintes importantes que contribuem para a ocorrência de aromas herbáceos e notas tropicais (Pérez-Navarro et al., 2019). Adicionalmente, os níveis de C16:0 encontrados neste estudo também foram superiores ao estudo referido (Vašeková et al., 2020). Em concordância com o nosso estudo, Masuero et al., (2021) também observaram teores de C18:2 e C16:0 superiores aos outros AG nas uvas. Realça-se que a composição em AG é heterogénea nos diferentes tecidos, sendo que nas diferentes castas de *Vitis vinifera*, na polpa e na película, encontram-se maioritariamente o C18:2 e C16:0, enquanto nas grainhas predominam o C18:2 e o C18:1 (Singh et al., 2023). Assim, dependendo da técnica de preparação das amostras, podem ocorrer diferenças na extração dos diferentes AG decorrente da sua heterogeneidade nos tecidos.

4.7 Textura e Análise Sensorial dos Frutos

As características das uvas, nomeadamente o tamanho dos bagos, a aparência, a textura e os atributos sensoriais, são fatores importantes para a comercialização (Qian et al., 2017). Após a fase do pintor, à medida que a maturação evolui, os bagos de uva tornam-se mais moles e coesos, enquanto a película ganha uma maior elasticidade (Brillante et al., 2015). O amolecimento dos bagos deve-se a alterações na composição dos constituintes da parede celular (*e.g.*, células da polpa), conferindo uma maior resistência face às películas mais rígidas que rompem mais facilmente (Rolle et al., 2012). Adicionalmente, a força de coesão dos bagos, desenvolve-se na maturação e foi relacionada com a resiliência dos bagos em diversos estudos, tendo sido observado que o teor de açúcares tem uma forte influência neste parâmetro, podendo ser um indicador do grau de maturação (Tóth et al., 2022).

Os parâmetros de textura deste ensaio experimental foram determinados no primeiro e terceiro ano em uvas à colheita, sendo estes a dureza (N), o trabalho de penetração (N.s) e firmeza da polpa (N)

(**Tabelas 3.41, 3.99**). Considerando a dureza (força máxima para romper a película), não se observaram diferenças significativas, exceto no terceiro ano, na casta Syrah, onde o controlo apresentou um valor superior (**Tabelas 3.41, 3.99**). No entanto, evidenciou-se de modo geral uma tendência para valores superiores no controlo face às restantes uvas com ZnO e ZnSO₄ (**Tabelas 3.41, 3.99**). Como mencionado por Corona et al. (2016) e Rolle et al. (2012), a dureza da película varia com a casta e dentro da mesma variedade, com a área de cultivo, condições climáticas e estado de maturação, sendo que neste estudo os valores foram semelhantes entre castas e dentro da mesma casta (embora tenha sido observada uma tendência de valores superiores no controlo que poderá estar relacionada com alguns destes fatores).

Paralelamente, o trabalho de penetração (N.s) e firmeza da polpa (N) não apresentaram alterações relevantes entre amostras, sendo que o controlo, tal como a dureza, revelou uma tendência para valores superiores nas quatro castas (**Tabelas 3.41, 3.99**). Relativamente à firmeza, os bagos mais firmes são mais apreciados, seja pelos consumidores, como pelos produtores, uma vez que influenciam a resistência dos frutos durante o transporte (Balic et al., 2014). Aponte-se, que deve evidenciar-se, que no caso das uvas para vinificação este parâmetro poderá não ser tão relevante face às uvas de mesa.

Esta análise da textura é uma determinação quantitativa e objetiva, que permite reduzir a variabilidade associada à subjetividade da análise sensorial (Brillante et al., 2015). Porém, devido às diferentes condições que estas determinações são realizadas, nomeadamente o tipo de sonda, torna-se difícil a comparação dos resultados obtidos (Segade et al., 2013). De facto, os valores encontrados por outros autores (Segade et al., 2008; Rolle et al., 2011; Corona et al., 2020), foram diferentes dos obtidos neste estudo, eventualmente devido às diferentes condições da determinação dos parâmetros de textura. Na literatura (Rolle et al., 2011; Segade et al., 2008; Corona et al., 2020), os ensaios maioritariamente são obtidos através de uma sonda de agulha e a deste estudo era de forma cilíndrica de 2 mm, o que implica resultados de dureza superiores, uma vez que envolve uma maior área de contacto e uma força superior para o rompimento da película da uva. Adicionalmente, existem outros fatores que contribuem para a diferença dos resultados, como as condições do teste, a velocidade, a calibração, profundidade de penetração e as dimensões da própria sonda.

Embora a análise sensorial possa ser mais subjetiva (Brillante et al., 2015) uma vez que depende dos sentidos humanos (Rodrigues et al., 2024), esta ajuda a complementar a análise de textura realizada, visto que as alterações observadas podem não ser detetadas a nível sensorial pelo consumidor e também ajuda a evidenciar potenciais características organoléticas mais apelativas. Assim, realizou-se uma análise sensorial no primeiro ano às uvas da casta Fernão Pires e Syrah, revelando valores semelhantes de apreciação global (**Figuras 3.16, 3.17**), o que indicou que as diferenças observadas na análise da textura não foram perceptíveis / relevantes para a aceitabilidade das uvas pelo consumidor. Adicionalmente,

verificou-se que a casta Syrah apresentou um valor de apreciação global ligeiramente superior no controlo (evidenciando-se a cor e aroma / sabor) e a casta Fernão Pires valores superiores nas uvas sujeitas aos fertilizantes de Zn em todos os descritores avaliados (**Figuras 3.16 - 3.17**). Similarmente, no segundo ano foi realizada uma análise sensorial com um teste triangular (um teste realizado com o objetivo de ver se o painel deteta diferenças nos produtos apresentados), tendo-se observado diferenças entre as uvas da casta Castelão e Syrah com o ZnO, relativamente às uvas controlo (**Tabela 3.71**). Porém, considerando as análises de textura (**Tabela 3.71**) e os testes sensoriais, a biofortificação de uvas em Zn indica que as diferenças detetadas não influenciam negativamente a aceitabilidade por parte do consumidor. Ademais, tendo em conta que o objetivo deste estudo em última análise visa a vinificação, estas características podem não refletir diferenças no vinho e na sua apreciação, uma vez que envolve o processamento destas uvas (*i.e.*, a alteração da sua textura), não sendo para consumo em fresco, no entanto sendo de evidenciar que as uvas também não indicam potenciais efeitos negativos na sua qualidade.

A apreciação geral dos resultados obtidos para as uvas ao longo dos diferentes anos de estudo revelou pontos positivos e negativos nos diversos parâmetros avaliados. De maneira geral, as uvas das castas tintas (Syrah e Castelão) mostraram valores superiores de dureza e firmeza nas uvas controlo em relação às uvas biofortificadas em Zn, o que pode indicar uma resistência superior no transporte e armazenamento, um fator relevante para a comercialização.

Em termos sensoriais, as uvas das castas Fernão Pires e Syrah sujeitas à biofortificação de Zn apresentaram uma boa aceitação por parte dos provadores, sem influências negativas na apreciação global. Em particular, as uvas Fernão Pires tiveram melhores resultados nos descritores de aparência, aroma e sabor após a biofortificação. Adicionalmente, a prova triangular no segundo ano evidenciou que os provadores conseguiram identificar diferenças significativas nas uvas biofortificadas com Zn em comparação com as amostras controlo, sem que isso tenha impactado negativamente a aceitação. Em resumo, a biofortificação em Zn demonstrou efeitos positivos em algumas características sensoriais e não afetou negativamente a aceitação pelo consumidor, mas apresentou variações nos resultados em relação aos parâmetros de textura e firmeza, dependendo da casta e do ano de estudo.

Estudos como estes enfrentam desafios significativos devido à variação natural da matéria-prima ao longo dos anos, nomeadamente fatores como clima, condições do solo, e estado de maturação das uvas, que podem variar de uma colheita para outra, resultando em diferenças nas características físicas e sensoriais das uvas, mesmo quando submetidas aos mesmos fertilizantes de Zn. Essa variabilidade dificulta a obtenção de resultados comparáveis ao longo do tempo. Além disso, o curto intervalo de tempo durante o qual as uvas atingem a maturidade ideal (o ponto de ametria) aumenta a complexidade. Os períodos de colheita são limitados, exigindo que as análises e os testes sejam realizados em

prazos restritos. Isso impõe desafios logísticos e pode restringir o número de ensaios realizados em cada colheita, comprometendo a replicabilidade dos resultados e o controle das variáveis do estudo.

4.8 Análises de Qualidade do Vinho

A qualidade do vinho está intrinsecamente ligada às suas características químicas e sensoriais (Gao et al., 2024). Alguns dos parâmetros usualmente analisados são o dióxido de enxofre total e livre (SO_2), acidez total e livre e pH.

Os níveis de SO_2 previnem a ocorrência das reações de oxidação e inibem o crescimento de microrganismos indesejáveis (*e.g.*, leveduras e bactérias naturalmente presentes), contribuindo para a preservação da frescura, a cor e a estabilidade do vinho (Török, 2023). O SO_2 livre é a fração do SO_2 total que não está ligada a outros compostos no vinho e está disponível para exercer a sua função protetora (Török, 2023). De acordo com o Reg. (CE) nº 606/2009, Anexo I B, o teor de SO_2 total dos vinhos (22-136 mg.L^{-1}) quantificado neste estudo (**Tabela 3.104**) encontra-se dentro dos valores expectáveis, sendo os limites no vinho tinto e branco respetivamente, 150 ou 200 mg.L^{-1} e 200 ou 250 mg.L^{-1} , de acordo com o teor de açúcar nos vinhos. Relativamente ao SO_2 livre, de modo geral, os valores encontrados (**Tabela 3.104**) corroboram com outros estudos (Zagrodzki et al., 2023), onde os valores variaram entre 7,5 e 76,8 mg.L^{-1} , dependendo do vinho, e sendo dependente da quantidade de SO_2 total.

A acidez no vinho, também é considerada importante a nível da estabilidade microbiológica (através da acidez volátil), resultando dos ácidos da uva e os ácidos formados durante e após a fermentação alcoólica e maloláctica (caso tenha sido realizada) (Sabino et al., 2023). Os principais ácidos que determinam a acidez total do vinho são, nomeadamente, o tartárico, o málico, o láctico e o cítrico, sendo que o primeiro é quimicamente instável e reage com os catiões de K, precipitando na forma de tartaratos e diminuindo a acidez total e aumentando o pH (Vicente et al., 2022). Já a acidez volátil, deve-se essencialmente ao ácido acético, que resulta da fermentação e pode aumentar devido à atividade bacteriana quando o vinho é exposto ao ar, sendo que pode acrescentar complexidade ao vinho, mas em excesso pode levar a um sabor avinagrado (Vilela-Moura et al., 2008; Török, 2023). Segundo o Reg. (CE) nº 491/2009, Anexo III- 1 d) os valores de acidez total nos vinhos deste estudo oscilaram entre 3,9-5,3 g.L^{-1} (**Tabela 3.104**) encontrando-se dentro dos valores expectáveis, sendo estes respetivamente $\geq 3,5 \text{ g.L}^{-1}$. Já a acidez volátil, de acordo com Vilela (2019), na maioria dos vinhos, tem um limite aceitável de 1,2 g.L^{-1} , sendo que de modo geral neste estudo os valores são inferiores ao limite ou similares (no caso da casta Syrah) (**Tabela 3.104**).

O pH tal como os restantes parâmetros referidos, é importante para a estabilidade microbiológica e físico-química do vinho, permitindo selecionar o tipo de microrganismos e algumas reações químicas essenciais (*e.g.*, mantendo o equilíbrio do SO₂) (Forino et al., 2020). Segundo Török (2023), o pH do vinho normalmente varia entre 3 e 4, estando diretamente relacionado com a acidez do vinho, corroborando os valores encontrados neste estudo entre 3,17 a 4,30 (**Tabela 3.104**).

A análise sensorial dos vinhos, é normalmente avaliada considerando atributos sensoriais como a cor, a limpidez, o amargor e a adstringência (Baca-Bocanegra et al., 2022). Adicionalmente, como referido, os atributos sensoriais contribuem para determinar a qualidade dos vinhos monocasta produzidos com as uvas das quatro castas em estudo. Neste contexto, no primeiro e terceiro ano de ensaio experimental (**Figuras 3.18 - 3.21, 3.49 - 3.52**), denota-se em termos de apreciação, que a biofortificação em Zn poderá ter beneficiado as castas brancas (Moscatel e Fernão Pires). Já nas castas tintas (**Figuras 3.18 - 3.19, 3.49 - 3.50**), revela-se na casta Syrah, com a concentração de 900 g.ha⁻¹, uma resposta positiva à biofortificação em Zn, embora com o aumento da concentração no terceiro ano, o controlo e o vinho produzido com as uvas pulverizadas com ZnO tenham sido os mais apreciados pelo painel. Porém, o vinho da casta Castelão apresentou uma maior apreciação no controlo. Considerando as concentrações dos fertilizantes de Zn (**Figuras 3.18 - 3.21**), observou-se no primeiro ano maioritariamente a preferência do vinho produzido com as uvas com ZnSO₄ - 900 g.ha⁻¹ (exceto na casta Castelão). No terceiro ano (**Figuras 3.49 - 3.50, 3.52**), com o aumento da concentração observa-se uma menor apreciação do vinho com ZnSO₄ na casta Syrah, enquanto na casta Moscatel e Fernão Pires se verificou um aumento da apreciação no vinho relativamente ao controlo (sendo que no caso da casta Fernão Pires ambos os vinhos com as uvas sujeitas aos dois tipos de fertilizantes de Zn revelaram ter uma melhor apreciação). Adicionalmente (**Figuras 3.18 - 3.22**), no primeiro ano de ensaio as notas que se realçam e que levaram a uma maior apreciação nos vinhos tintos foram uma maior persistência, menor acidez, maior doçura e menor amargura e nos vinhos brancos, uma menor perceção do álcool e uma maior amargura. No terceiro ano (**Figuras 3.49 - 3.53**), nos vinhos tintos, as notas que levaram a uma maior apreciação foram, uma maior doçura e menor amargura e nos vinhos brancos uma menor amargura, sendo que nas outras notas não se verificou uma relação clara entre os vinhos mais apreciados. Deve, contudo, evidenciar-se que estas análises foram realizadas por um painel não treinado estando sujeitas a uma maior variação e subjetividade.

De facto, equacionando os resultados do primeiro ano da análise sensorial da uva, destacou-se na casta Syrah uma apreciação superior no controlo, porém após a vinificação, o vinho desta casta com ZnSO₄ levou a uma apreciação superior. Saliente-se que, no caso da casta Fernão Pires, tanto as uvas como o vinho produzido com ZnO e ZnSO₄ apresentaram uma maior apreciação pelo painel de

provaadores. Sugere-se assim que a subjetividade desta análise também poderá justificar as diferenças observadas.

CONCLUSÃO

A biofortificação agronômica tem sido objeto de um crescente interesse, embora existam maioritariamente estudos em cereais, pelo que em frutos, nomeadamente na uva, é uma prática preambular. Neste âmbito, o itinerário técnico de biofortificação agronômica de uvas (*Vitis vinifera* L.) para vinificação com 3 a 4 pulverizações foliares de ZnSO_4 e ZnO no início da floração até à evolução do “pintor” com concentrações entre 150 a 1350 g. ha⁻¹, permitiu a obtenção de uva e vinho com teores superiores em Zn. A implementação das diferentes concentrações foi gradual ao longo dos três anos, sendo que, em cada ano aferiam-se as concentrações de acordo com os resultados obtidos. De modo que, no terceiro ano, após a resposta positiva do primeiro e segundo ano de ensaio, onde ocorreu a manutenção do metabolismo fotossintético, repetiu-se apenas a concentração mais alta de forma a otimizar / confirmar a eficiência do itinerário de biofortificação. Estes resultados foram possíveis nas condições edafoclimáticas dos campos experimentais selecionados ao longo dos três anos de ensaio. Destaque-se que, em Portugal, o uso de uvas biofortificadas em Zn para vinificação é uma prática inovadora, pelo que a sua implementação poderá permitir a criação de um produto alimentar diferenciado e com potenciais características funcionais.

Os resultados deste estudo indicam uma heterogeneidade entre a eficiência da biofortificação agronômica em Zn entre as castas, sendo esta associada à variabilidade intrínseca entre videiras, aos fertilizantes de Zn aplicados (ZnSO_4 e ZnO) e às condições edafoclimáticas dos diferentes anos de ensaio. Por outro lado, observou-se que o aumento do teor em Zn não foi linear com o aumento da concentração de ZnSO_4 ou ZnO , apesar de se verificarem maioritariamente teores superiores com as concentrações mais elevadas. Através deste estudo, observaram-se maioritariamente aumentos dos teores em Zn nas uvas entre 1,2 a 4,3 vezes relativamente aos teores da amostra controlo, sendo que a eficiência entre os dois tipos de fertilizantes foi diferenciado. Estes incrementos, comparativamente ao vinho produzido com uvas não biofortificadas em Zn, traduziram-se em vinhos com teores superiores em 1,1 a 3,6 vezes (sendo os aumentos semelhantes aos observados ao nível do fruto). Ademais, poderá ser vantajoso a eficiência do uso de pulverizações foliares de ZnSO_4 ou ZnO , ainda que o ZnO possa constituir uma alternativa melhor em termos de custo-benefício relativamente ao ZnSO_4 .

Após o aumento do teor em Zn, observaram-se oscilações nos teores dos restantes elementos minerais nas folhas e frutos, ainda que prevalecendo a ausência de interações de antagonismo (*e.g.* Ca, K, Fe, S e P). De facto, dependendo do ano de ensaio e da técnica de análise, ocorreram casos pontuais de relações antagónicas e sinérgicas (sendo estas últimas maioritárias comparativamente às anteriores), evidenciando-se a importância dos fatores edafoclimáticos para a resposta positiva na concretização do processo de biofortificação agronómica a nível foliar.

Paralelamente, na perspetiva ecofisiológica, monitorizou-se a resposta das videiras à pulverização com ZnO e ZnSO₄ através das trocas gasosas a nível foliar e dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* em dois momentos do ciclo produtivo. No segundo e terceiro ano, os resultados sugerem que as castas apresentaram principalmente uma resposta positiva à biofortificação em Zn, conseguindo-se manter o normal funcionamento da maquinaria fotossintética e podendo prolongar-se o mesmo na fase final do ciclo produtivo da videira. Já no primeiro ano, destaca-se uma ligeira inibição nas castas não irrigadas (Castelão e Fernão Pires), sendo o ano que atingiu as temperaturas mais elevadas. Tal, foi evidenciado também pelos resultados de NDVI do segundo ano, onde as videiras da casta Fernão Pires e Castelão apresentaram um vigor ligeiramente inferior às restantes castas. Globalmente, os resultados sugerem a ausência de sinais de toxicidade, sendo de destacar que as castas não irrigadas são mais suscetíveis a impactos no funcionamento da fotossíntese, embora na sua maioria de forma transitória.

Conjugando estes resultados, admite-se que a heterogeneidade nas videiras poderá ser potenciada devido à influência dos fatores edafoclimáticos e também do procedimento de pulverização foliar efetuado manualmente, sendo a sua eficiência dependente de uma maior / menor superfície exposta das folhas e frutos. Complementarmente, o Zn encontra-se heterogeneamente presente nos tecidos das uvas, o que poderá traduzir-se em oscilações nos resultados obtidos com procedimentos experimentais distintos adotados em laboratório e na preparação das amostras.

A par da biofortificação em Zn, analisaram-se parâmetros de qualidade nos frutos e vinho, tendo prevalecido a ausência de impactos negativos relevantes nos parâmetros colorimétricos, densidade, teor de sólidos solúveis totais, açúcares solúveis e ácidos gordos. Considerando a densidade, o teor de sólidos solúveis totais e os açúcares solúveis (exceto na casta Castelão), evidenciou-se uma tendência para valores superiores nas amostras biofortificadas em Zn, sendo um fator que poderá ser vantajoso a nível da vinificação. Similarmente, os ácidos gordos apesar das variações nas proporções, após a biofortificação em Zn, mantiveram, na maioria dos casos, o perfil inalterado e também sem impactos na estabilidade do grau de insaturação dos lípidos. De facto, as variações verificadas podem ser justificadas pela heterogeneidade dos ácidos gordos nos tecidos das uvas e pelo procedimento de preparação das amostras.

A nível da textura e dos parâmetros organoléticos das uvas, a apreciação geral dos resultados obtidos revela pontos positivos e negativos nos diversos parâmetros avaliados. Neste contexto, a biofortificação em Zn demonstrou efeitos positivos em algumas características sensoriais e não afetou negativamente a aceitação na análise sensorial, embora se evidenciem variações nos resultados dos parâmetros de textura e firmeza, dependendo da casta e do ano de estudo. De maneira geral, as uvas das castas tintas (Syrah e Castelão) mostraram valores superiores de dureza e firmeza nas amostras controlo, o que pode indicar uma resistência superior no transporte e armazenamento, sendo um fator relevante para a comercialização. Porém, as ligeiras variações observadas nos parâmetros de textura e firmeza poderão não ser um fator decisivo para o processo de vinificação. Aponte-se que estes estudos enfrentam desafios significativos devido à variação natural da matéria-prima ao longo dos anos, nomeadamente fatores edafoclimáticos e estado de maturação das uvas que podem variar de uma colheita para outra, resultando em diferenças nas características físicas e sensoriais das uvas. Efetivamente, após a vinificação, observou-se de modo geral uma maior apreciação dos vinhos produzidos com as uvas sujeitas à biofortificação em Zn (*i.e.*, casta Syrah, Moscatel e Fernão Pires). Embora, com o aumento da concentração no terceiro ano (1350 g. ha^{-1}), a casta Syrah tenha apresentado uma baixa apreciação do vinho produzido com as uvas pulverizadas com ZnSO_4 . Ademais, em ambos os anos de vinificação, a casta Castelão apresentou uma maior apreciação dos vinhos elaborados com as uvas controlo. Conclui-se que a aplicação foliar dos fertilizantes de Zn na vinha, na sua maioria não afeta negativamente as características organoléticas do vinho, podendo até favorecer a sua aceitabilidade. Porém, também se constatou que, dependendo da casta e dos seus aromas característicos, o resultado da aceitabilidade poderá ser diferente (*e.g.* casta Castelão).

Em termos de perspetivas futuras, seria relevante realizar o mesmo itinerário técnico em castas sujeitas a diferentes condições edafoclimáticas em Portugal, a fim de entender melhor a resposta das videiras à biofortificação em Zn e confirmar a eficiência deste procedimento. Do mesmo modo, com o intuito de aumentar o incremento dos teores de Zn nas partes edíveis, seria importante testar concentrações superiores a 1350 g. ha^{-1} de ZnSO_4 e ZnO, porém sem ultrapassar o limiar de 2000 g. ha^{-1} (limite do fertilizante ZnSO_4 que poderá ser aplicado sem impactos negativos), uma vez que de modo geral os resultados sugerem a ausência de sinais de toxicidade. Complementarmente, seria interessante realizar o mesmo itinerário técnico nas castas não irrigadas, mas em regime de irrigação, de forma a avaliar a influência deste fator na resposta observada neste estudo. Equacionando a eficiência da biofortificação em Zn, seria relevante determinar a produtividade após as pulverizações com o ZnSO_4 e o ZnO nas diferentes concentrações. Por fim, após a vinificação com as uvas biofortificadas e considerando a heterogeneidade da acumulação do Zn nos tecidos das uvas e das próprias videiras, assim como as condições edafoclimáticas, que variam de acordo com o ano, seria importante testar a hipótese de gerar *blends* com diferentes concentrações de Zn, equilibrando as uvas biofortificadas em Zn com

teores mais elevados com outras de menor concentração. Tal, possibilitando testar a elaboração de vinho, com uma concentração de Zn que fosse sempre possível alcançar e disponibilizar ao consumidor. Outros estudos promissores neste âmbito, poderiam envolver a avaliação da biodisponibilidade e bioassimilação do Zn, após a ingestão do vinho produzido com as uvas biofortificadas em Zn. Por outro lado, existem subprodutos resultantes da vinificação que poderiam ser aproveitados após a implementação do itinerário técnico. Estes subprodutos da vinificação nomeadamente o bagaço, pode ser utilizado para a produção de aguardente e para a indústria alimentar e cosmética, constituindo assim uma oportunidade de rentabilizar ainda mais este processo, criando outros produtos de valor acrescentado.

BIBLIOGRAFIA

- Abadi, V.A.J.M.; Sepehri, M. (2016). Effect of piriformospora indica and azoto bacter chroococcum on mitigation of zinc deficiency stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Symbiosis* 69, 9–19. <https://doi.org/10.1007/s13199-015-0361-z>
- Ackova, D.G. (2018) Heavy metals and their general toxicity on plants. *Plant Science Today* 5, 15–19. <https://doi.org/10.14719/pst.2018.5.1.355>
- Agrogrante (2021). Acedido a 18/03/2024. Disponível em: <https://www.agrogrante.pt/pt/noticias/analise-setorial-subsetor-vinha-e-vinho/>
- Ahmed, N.; Ahmad, F.; Abid, M.; Ullah, M.A. (2009). Impact of zinc fertilization on gas exchange characteristics and water use efficiency of cotton crop under arid environment. *Pakistan Journal of Botany* 41, 2189–2197.
- Alloway, B.J. (2008). *Zinc in Soils and Crop Nutrition*, 2^a ed.; IZA and IFA, Bruxelas, Bélgica e Paris, França, pp. 59–71.
- Almanza-Merchán, P.J.; Fischer, G.; Cely, G.E.R. (2014). The importance of pruning to the quality of wine grape fruits (*Vitis vinifera* L.) cultivated under high-altitude tropical conditions. *Agronomia Colombiana* 32, 341–348. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n3.47048>
- Anastasiou, E.; Balafoutis, A.; Darra, N.; Psiroukis, V.; Biniari, A.; Xanthopoulos, G.; Fountas, S. (2018). Satellite and proximal sensing to estimate the yield and quality of table grapes. *Agriculture* 8, 94. <https://doi.org/10.3390/agriculture8070094>
- Andreini, C.; Banci, L.; Bertini, I.; Rosato, A. (2006). Counting the zinc-proteins encoded in the human genome. *Journal of Proteome Research* 5, 196–201. <https://doi.org/10.1021/pr050361j>
- Anić, M.; Kontić, J.K.; Rendulić, N.; Carija, M.; Osrečak, M.; Karoglan, M.; Andabaka, Ž. (2024). Evolution of leaf chlorophylls, carotenoids and phenolic compounds during vegetation of some croatian indigenous red and white grape cultivars. *Plants* 13, 971. <https://doi.org/10.3390/plants13070971>
- Anwar, S.; Khalilzadeh, R.; Khan, S.; Zaib-un-Nisa; Bashir, R.; Pirzad, A.; Malik, A. (2021). Mitigation of drought stress and yield improvement in wheat by zinc foliar spray relates to enhanced water use efficiency and zinc contents. *International Journal of Plant Production* 15, 377–389. <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00136-6>
- Arora, N.K. (2018). Agricultural sustainability and food security. *Environmental Sustainability* 1, 217–219. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-00032-2>

- ASAE- Autoridade de Segurança Alimentar e Económica. (2016). Acedido a 15/08/2024. Disponível em: <https://www.asae.gov.pt/newsletter2/asaenews-n-104-dezembro-2016/o-vinho.aspx>
- Ashraf, M.; Harris, P.J.C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica* 51, 163–190. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6>
- Avnee, S.S.; Chaudhary, D.R.; Jhorar, P.; Rana, R.S. (2023). Biofortification: an approach to eradicate micronutrient deficiency. *Frontiers in Nutrition* 10, 1233070. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1233070>
- Aziz, M.A; Brini, F.; Rouached, H.; Masmoudi, K. (2022). Genetically engineered crops for sustainably enhanced food production systems. *Frontiers in plant science* 13, 1027828. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1027828>
- Baca-Bocanegra, B.; Gonçalves, S.; Nogales-Bueno, J.; Mansinhos, I.; Heredia, F.J.; Hernández-Hierro, J.M.; Romano, A. (2022). Influence of wine pH and ethanol content on the fining efficacy of proteins from winemaking by-products. *Foods* 11(12), 1688. <https://doi.org/10.3390/foods11121688>.
- Bagherzadeh, A.; Hoseini, A.V.; Totmaj, L.H. (2020). The effects of climate change on normalized difference vegetation index (NDVI) in the Northeast of Iran. *Modeling Earth Systems and Environment* 6, 671–683. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00724-x>
- Baiano, A.; Terracone, C.; Peri, G.; Romaniello, R. (2012). Application of hyperspectral imaging for prediction of physico-chemical and sensory characteristics of table grapes. *Computers and Electronics in Agriculture* 87, 142-151. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.06.002>
- Balic, I.; Ejsmentewicz, T.; Sanhueza, D.; Silva, C.; Peredo, T.; Olmedo, P.; Barros, M.; Verdonk, J.C.; Paredes, R.; Meneses, C.; Prieto, H.; Orellana, A.; Defilippi, B.G.; Campos-Vargas, R. (2014). Biochemical and physiological study of the firmness of table grape berries. *Postharvest Biology and Technology* 93, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.02.001>
- Banerjee, S.; Roy, P.; Nandi, S.; Roy, S. (2023). Advanced biotechnological strategies towards the development of crops with enhanced micronutrient content. *Plant Growth Regulation* 100, 355–371. <https://doi.org/10.1007/s10725-023-00968-4>
- Begum, M.C.; Islam, M.; Sarkar, M.R.; Azad, M.A.S.; Huda, A.K.M.N.; Kabir, A.H. (2016). Auxin signaling is closely associated with Zn-efficiency in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Interactions* 11, 124–129. <https://doi.org/10.1080/17429145.2016.1220026>
- Beig, B.; Niazi, M.B.K.; Jahan, Z.; Haider, G.; Zia, M.; Shah, G. A.; Iqbal, Z.; Hayat, A. (2023). Development and testing of zinc sulfate and zinc oxide nanoparticle-coated urea fertilizer to improve N and Zn use efficiency. *Frontiers in Plant Science* 13, 1058219. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1058219>
- Beyersmann, D.; Haase, H. (2001). Functions of zinc in signaling, proliferation and differentiation of mammalian cells. *Biometals* 14, 331–341. <https://doi.org/10.1023/a:1012905406548>
- Bhardwaj, A.K.; Chejara, S.; Malik, K.; Kumar, R.; Kumar, A.; Yadav, R.K. (2022). Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. *Frontiers in Plant Science* 13, 1055278. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1055278>

- Bhardwaj, R.L.; Parashar, A.; Parewa, H.P.; Vyas, L. (2024). An alarming decline in the nutritional quality of foods: The biggest challenge for future generations' health. *Foods* 13, 877. <https://doi.org/10.3390/foods13060877>
- Bhatti, S.M.; Panhwar, M.A.; Bughio, Z.U.R.; Sarki, M.S.; Gandahi, A.W.; Wahocho, N.A. (2021). Influence of foliar application of zinc on growth, yield and zinc concentration in strawberry. <http://doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.2.486.493>
- Bondada, B.; Keller, M. (2012). Morphoanatomical symptomatology and osmotic behavior of grape berry shrivel. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 137(1), 20-30. <https://doi.org/10.21273/JASHS.137.1.20>
- Borghezan, M. (2017). Formation and ripening of grape and effects on the wines. *Ciência e Técnica Vitivinícola* 32(2), 126-141. <https://doi.org/10.1051/ctv/20173202126>
- Bravo, S.; Amorós, J.A.; Pérez-De-Los-Reyes, C.; García, F.J.; Moreno, M.M.; Sánchez-Ormeño, M.; Higuera, P. (2017). Influence of the soil pH in the uptake and bioaccumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb and Mn) and other elements (Ca, K, Al, Sr and Ba) in vine leaves, Castilla-La Mancha (Spain). *Journal of Geochemical Exploration* 174, 79-83. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.12.012>
- Brillante, L.; Tomasi, D.; Gaiotti, F.; Giacosa, S.; Torchio, F.; Segade, S.R.; Siret, R.; Zouid, I.; Rolle, L. (2015). Relationships between skin flavonoid content and berry physical-mechanical properties in four red wine grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae* 197, 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.053>
- Brito, M.G.; Costa, C.N.; Almeida, J.A.; Vendas, D.; Verdial, P.H. (2006). Characterization of maximum infiltration areas using GIS tools. *Journal of Engineering Geology* 85, 14-18. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.09.022>
- Broadley, M.R.; White, P.J.; Hammond, J.P.; Zelko, I.; Lux, A. (2007). Zinc in plants. *New Phytologist* 173, 677–702. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.01996.x>
- Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant Soil* 302, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9466-3>
- Cakmak, I.; Kutman, U.B. (2018). Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European journal of soil science* 69(1), 172-180. <https://doi.org/10.1111/ejss.12437>
- Cakmak, I.; Marschner, H. (1987). Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants *Is mail. Physiologia Plantarum* 70, 13–20. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1987.tb08690.x>
- Cameron, W.; Petrie, P.R.; Barlow, E.W.R. (2022). The effect of temperature on grapevine phenological intervals: Sensitivity of budburst to flowering. *Agricultural and Forest Meteorology* 315, 108841. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108841>
- Candiago, S.; Remondino, F.; De Giglio, M.; Dubbini, M.; Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing* 7, 4026-4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>
- Cardoso, P.; Mateus, T.C.; Velu, G.; Singh, R.P.; Santos, J.P.; Carvalho, M.L.; Lourenço, V.M.; Lidon, F.; Reboredo, F.; Guerra, M. (2018). Localization and distribution of Zn and Fe in grains

of biofortified bread wheat lines through micro- and triaxial-X-ray fluorescence spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 141, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2018.01.006>

- Caruso, G.; Palai, G.; Tozzini, L.; D'Onofrio, C.; Gucci, R. (2023). The role of LAI and leaf chlorophyll on NDVI estimated by UAV in grapevine canopies. *Scientia Horticulturae* 322, 112398. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112398>
- Catarino, S.; Curvelo-Garcia, A.S.; de Sousa, R.B. (2002). Determinação do zinco em vinhos por espectrofotometria de absorção atômica com chama. Validação do método de análise. *Ciência e Técnica Vitivinícola* 17(1), 15-26. ISSN 0254-0223
- Chang, H.; Lin, C.; Huang, H. (2005). Zinc-induced cell death in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regulation* 46, 261–266. <https://doi.org/10.1007/s10725-005-0162-0>
- Chao, Z.; Liu, N.; Zhang, P.; Ying, T.; Song, K. (2019). Estimation methods developing with remote sensing information for energy crop biomass: A comparative review. *Biomass and Bioenergy* 122, 414-425. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.02.002>
- Chasapis, C.T.; Loutsidou, A.C.; Spiliopoulou, C.A.; Srefanidou, M.E. (2011). Zinc and human health: An update. *Archives of Toxicology* 86, 521–534. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0775-1>
- Chasapis, C.T.; Ntoupa, P-S.A.; Spiliopoulou, C.A.; Stefanidou, M.E. (2020). Recent aspects of the effects of zinc on human health. *Archives of Toxicology* 94, 1443–1460. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02702-9>
- Chauvet, M.; Reynier, A. (1984). *Manual de Viticultura*. Biblioteca Agrícola Litexa.
- Che, Y.; Zhang, N.; Zhu, X.; Li, S.; Wang, S.; Si, H. (2020). Enhanced tolerance of the transgenic potato plants overexpressing Cu/Zn superoxide dismutase to low temperature. *Scientia horticulturae* 261, 108949. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108949>
- Chen, W.K.; Yu, K.J.; Liu, B.; Lan, Y-B.; Sun, R-Z.; Li, Q.; He, F.; Pan, Q-H.; Duan, C-Q.; Wang, J. (2017). Comparison of transcriptional expression patterns of carotenoid metabolism in 'Cabernet Sauvignon' grapes from two regions with distinct climate. *Journal of plant physiology* 213, 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.03.001>
- Choi, S. E. (2014). Chapter 3- Sensory evaluation. Em: *Food Science: An Ecological Approach*, 2ª ed.; Edelman, S. Ed.; Jones & Bartlett Publishers, Burlington, E.U.A, pp. 83-111.
- Choi, S.; Liu, X.; Pan, Z. (2018). Zinc deficiency and cellular oxidative stress: prognostic implications in cardiovascular diseases. *Acta Pharmacologica Sinica* 39, 1120–1132. <https://doi.org/10.1038/aps.2018.25>
- Comino, J.R.; Senciales, J.M.; Ramos, M.A.; Martínez-Casasnovas, J.A.; Lasanta, T.; Brevik, E.C.; Ries, J.B.; Sinoga, J.R. (2017). Understanding soil erosion processes in Mediterranean sloping vineyards (Montes de Málaga, Spain). *Geoderma* 296, 47-59. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.021>
- Corona, O.; Planeta, D.; Bambina, P.; Giacosa, S.; Paissoni, M.A.; Squadrito, M.; Torchio, F.; Río Segade, S.; Cinquanta, L.; Gerbi, V.; Rolle, L. (2020). Influence of different dehydration

levels on volatile profiles, phenolic contents and skin hardness of alkaline pre-treated grapes cv Muscat of Alexandria (*Vitis vinifera* L.). *Foods* 9, 666. <https://doi.org/10.3390/foods9050666>

- Corona, O.; Torchio, F.; Giacosa, S.; Río Segade, S.; Planeta, D.; Gerbi, V.; Squadrito, M.; Mencarelli, F.; Rolle, L. (2016). Assessment of postharvest dehydration kinetics and skin mechanical properties of “Muscat of Alexandria” grapes by response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology* 9, 1060-1069. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1697-y>
- Costa J.M.; Egipto, R.; Aguiar, F.C.; Marques, P.; Nogales, A.; Madeira, M. (2023). The role of soil temperature in mediterranean vineyards in a climate change context. *Frontiers in Plant Science* 14, 1145137. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145137>.
- Costa, L.; Nunes, L.; Ampatzidis, Y. (2020). A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms. *Computers and Electronics in Agriculture* 172, 105334. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105334>
- DaMatta, F.M.; Ramalho, J.D.C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian journal of plant physiology* 18, 55-81. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- Das, A.; Singh, S.K.; Maneesh Kumar, M.K.; Omkar Kumar, O.K. (2018). Zinc biofortification: a novel strategy for improving human health. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 6(5), 751-762. [http://dx.doi.org/10.18006/2018.6\(5\).751.762](http://dx.doi.org/10.18006/2018.6(5).751.762)
- Demidchik, V.; Davenport, R.J.; Tester, M. (2002). Non selective cation channels in plants. *Annual Review of Plant Biology* 53, 67–107. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091901.161540>
- Dhaliwal, S.S.; Naresh, R.K.; Mandal, A.; Singh, R.; Dhaliwal, M.K. (2019). Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators* 1, 100007. <https://doi.org/10.1016/j.in-dic.2019.100007>
- Di Gioia, F.; Petropoulos, S.A.; Ozores-Hampton, M.; Morgan, K.; Roskopf, E.N. (2019). Zinc and iron agronomic biofortification of Brassicaceae microgreens. *Agronomy Journal* 9, 677. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110677>
- Dias, J.P. (2006). Fases de maturação da uva- Centésimo curso intensivo de vinificação. DRAPC- Edição Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro. Acedido a 16/06/2024. Disponível em: https://www.drapc.gov.pt/base/documentos/maturacao_da_uva_centenario.pdf
- Dias, J.P. (2023). Cadernos Temáticos DRAP Centro nº2. DRAPC- Edição Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro. Acedido a 15/06/2024. Disponível em: www.drapc.gov.pt
- Dinis, L.T.; Bernardo, S.; Yang, C.; Fraga, H.; Malheiro, A.C.; Moutinho-Pereira, J.; Santos, J. A. (2022). Mediterranean viticulture in the context of climate change. *Ciência e Técnica Vitivinícola* 37(2), 139-158. <https://doi.org/10.1051/ctv/ctv20223702139>
- Doolette, C.L.; Read, T.L.; Li, C.; Scheckel, K.G.; Donner, E.; Kopittke, P.M.; Schjoerring, J.K.; Lombi, E. (2018). Foliar application of zinc sulphate and zinc EDTA to wheat leaves: Differences in mobility, distribution, and speciation. *Journal of Experimental Botany* 69, 4469–4481. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery236>

- Droulia, F.; Charalampopoulos, I. (2021). Future climate change impacts on european viticulture: A review on recent scientific advances. *Atmosphere* 12, 495. <https://doi.org/10.3390/atmos12040495>
- Duan, M.; Li, T.; Liu, B.; Yin, S.; Zang, J.; Lv, C.; Zhao, G.; Zhang, T. (2023). Zinc nutrition and dietary zinc supplements. *Critical reviews in food Science and nutrition* 63(9), 1277-1292. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1963664>
- Eichert, T.; Goldbach, H.E. (2008). Equivalent pore radii of hydrophilic foliar uptake routes in stomatous and astomatous leaf surfaces—Further evidence for a stomatal pathway. *Plant Physiology* 132, 491–502. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2007.01023.x>.
- Eide, D.J. (2011). The oxidative stress of zinc deficiency. *Metallomics* 3,1124. <https://doi.org/10.1039/c1mt00064k>
- El-Ramady, H.R.; Alshaal, T.A.; Amer, M.; Domokos-Szabolcsy, É.; Elhawat, N.; Prokisch, J.; Fári, M. (2014). Soil quality and plant nutrition. Em *Sustainable Agriculture Reviews: Agroecology and Global Change*; Ozier-Lafontaine, H., Lesueur-Jannoyers, M., Eds.; Springer International Publishing, Cham, Suíça, pp. 345–447.
- ESRI. (2019). Software ArcGis PRO v.2.8. Acedido em 15-06-2023. Disponível em: <https://doc.arcgis.com/en/>
- Eurostat- Organização estatística da Comissão Europeia. (2020). Acedido a 13/04/2024. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Vineyards_in_the_EU_-_statistics#million_hectares_of_vineyards_in_the_EU. ISSN 2443-8219
- Fageria, N.K.; Filho, M.B.; Moreira, A.; Guimarães, C.M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of plant nutrition* 32(6), 1044-1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>
- Fageria, N.K.; Moreira, A. (2011). The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. *Advances in agronomy* 110, 251-331. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385531-2.00004-9>
- FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Acedido a 20/07/2024. Disponível em : <https://www.fao.org/portugal/acerca-de/pt/>
- Fernández, F.M.T. (2018). Anatomy of the vine: origin, morphology, vegetative and reproductive cycles, and varieties. Em: *La Rioja, its vineyards and wines*; Azevedo, D. Ed.; Gobierno de La Rioja, La Rioja, Espanha, pp. 40-53. ISBN: 978-84-8125-688-8
- Ferreira, C.S.; Seifollahi-Aghmiuni, S.; Destouni, G.; Ghajarnia, N.; Kalantari, Z. (2022). Soil degradation in the european mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment* 805, 150106. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>
- Fiorillo, E.; Crisci, A.; Filippis, T.; Di Gennaro, S.F.; Di Blasi, S.; Matese, A.; Vaccari, F.P.; Genesio, L. (2012). Airborne high-resolution images for grape classification: Changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in Central Italy. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 18, 80–90. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00174.x>

- Forino, M.; Picariello, L.; Rinaldi, A.; Moio, L.; Gambuti, A. (2020). How must pH affects the level of red wine phenols. *Lwt* 129, 109546. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109546>
- Freitas, E.P.; Cunha, A.T.; Aquino, S.L.; Pedrosa, L.F.; Lima, S.C.; Lima, J.G.; Almeida, M.G.; Sena-Evangelista, K.C. (2017). Zinc status biomarkers and cardiometabolic risk factors in metabolic syndrome: a case control study. *Nutrients* 9(2), 175. <https://doi.org/10.3390/nu9020175>
- Galani, Y.J.H.; Orfila, C.; Gong, Y.Y. (2022). A review of micronutrient deficiencies and analysis of maize contribution to nutrient requirements of women and children in Eastern and Southern Africa. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62(6), 1568–1591. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1844636>
- Gammoh, N.Z.; Rink, L. (2017). Zinc in infection and inflammation. *Nutrients* 9, 624. <https://doi.org/10.3390/nu9060624>
- Gao, F.; Guan, L.; Zeng, G.; Hao, X.; Li, H.; Wang, H. (2024). Preliminary characterization of chemical and sensory attributes for grapes and wines of different cultivars from the Weibei Plateau region in China. *Food Chemistry: X* 21, 101091. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101091>
- García-Estévez, I.; Quijada-Morín, N.; Rivas-Gonzalo, J.C.; Martínez-Fernández, J.; Sánchez, N.; Herrero-Jiménez, C.M.; Escribano-Bailón, M.T. (2017). Relationship between hyperspectral indices, agronomic parameters and phenolic composition of *Vitis vinifera* cv Tempranillo grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97, 4066–4074. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8366>
- Garrido, A.; Conde, A.; Serôdio, J.; de Vos, R.C.H.; Cunha, A. (2023). Fruit photosynthesis: more to know about where, how and why. *Plants* 12, 2393. <https://doi.org/10.3390/plants12132393>
- Garrido, A.; Vos, R.C.H.D.; Conde, A.; Cunha, A. (2021). Light microclimate-driven changes at transcriptional level in photosynthetic grape berry tissues- photosynthetic grape berry tissues. *Plants* 10, 1769. <https://doi.org/10.3390/plants10091769>
- Gavrilescu, M. (2021). Water, soil, and plants interactions in a threatened environment. *Water* 13, 2746. <https://doi.org/10.3390/w13192746>
- Ghori, N.H.; Ghori, T.; Hayat, M.Q.; Imadi, S.R.; Gul, A.; Altay, V.; Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16, 1807–1828. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02215-8>
- Giovanelli, G.; Brenna, O.V. (2007). Evolution of some phenolic components, carotenoids and chlorophylls during ripening of three Italian grape varieties. *European Food Research and Technology* 225, 145–150. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0436-4>
- Gómez-Míguez, M.J.; Gómez-Míguez, M.; Vicario, I.M.; Heredia, F.J. (2007). Assessment of colour and aroma in white wines vinifications: Effects of grape maturity and soil type. *Journal of food engineering* 79(3), 758-764. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.038>
- Grace, U.M.; Verma, M.K.; Singh, S.K.; Patel, V.B.; Sharma, V.K.; Sethi, S.; Pandey, R.; Mir, A.; Kumar, C. (2023). Elemental variation of berry mineral nutrient content in early maturing grapes genotypes grown under sub-tropical climate. *Grape Insight* 1(2), 81-88. <https://doi.org/10.59904/gi.v1.i2.2023.16>

- Greenough, J.D.; Longerich, H.P.; Jackson, S.E. Element fingerprinting of Okanagan Valley wines using ICP-MS: Relationships between wine composition vineyard and wine colour. (1997). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3, 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1997.tb00118.x>
- Grüngreiff, K.; Gottstein, T.; Reinhold, D. (2020). Zinc deficiency-An independent risk factor in the pathogenesis of haemorrhagic stroke? *Nutrients* 12, 3548. <https://doi.org/10.3390/nu12113548>
- Guimarães, J.J.; Sousa, F.G.G.; Román, R.M.S.; Dal Pai, A.; Rodrigues, S.A.; Sarnighausen, V.C.R. (2021). Efeito do pH da água de irrigação no desenvolvimento agrônômico do lúpulo em cultivo protegido. *Agricultural Water Management* 253, 106924. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106924>
- Gupta, N.; Ram, H.; Kumar, B. (2016). Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 15, 89–109. <https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1>
- Hacisalihoglu, G. (2020). Zinc (Zn): The last nutrient in the alphabet and shedding light on Zn efficiency for the future of crop production under suboptimal Zn. *Plants* 9, 1471. <https://doi.org/10.3390/plants9111471>
- Hall, A.; Wilson, M.A. (2013). Object-based analysis of grapevine canopy relationships with winegrape composition and yield in two contrasting vineyards using multitemporal high spatial resolution optical remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 34, 1772–1797. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.726753>
- Harding, K.L.; Aguayo, V.M.; Webb, P. (2018). Hidden hunger in South Asia: A review of recent trends and persistent challenges. *Public Health Nutrition* 21, 785–795. <https://doi.org/10.1017/S1368980017003202>
- Harvest plus. (2024). Acedido a 14/05/2024. Disponível em: www.harvestplus.org e www.harvestzinc.org
- Hassan, M.U.; Aamer, M.; Chattha, M.U.; Haiying, T.; Shahzad, B.; Barbanti, L.; Nawaz, M.; Rasheed, A.; Afzal, A.; Liu, Y.; Guoqin, H. (2020). The critical role of zinc in plants facing the drought stress. *Agriculture* 10, 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
- Hatterman-Valenti, H.; Kaya, O.; Yilmaz, T.; Ates, F.; Turan, M. (2024). Phenolic, amino acid, mineral, and vitamin contents during berry development in ‘Italia’ and ‘Bronx Seedless’ Grape Cultivars. *Horticulturae* 10, 429. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050429>
- He, F.; Mu, L.; Yan, G. L.; Liang, N.N.; Pan, Q.H.; Wang, J.; Reeves, M.J.; Duan, C.Q. (2010). Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 15(12), 9057-9091. <https://doi.org/10.3390/molecules15129057>
- Huang, W.; Zhang, S-B.; Cao, K.F. (2011). Cyclic electron flow plays an important role in photoprotection of tropical trees illuminated at temporal chilling temperature. *Plant Cell Physiology* 52, 297-305. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcq166>
- Hussain, A.; Jiang, W.; Wang, X.; Shahid, S.; Saba, N.; Ahmad, M.; Dar, A.; Massod, S.U.; Imran, M.; Mustafa, A. (2022). Mechanistic impact of zinc deficiency in human development. *Frontiers in Nutrition* 9, 717064. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.717064>

- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2018a). Boletim climatológico sazonal - Primavera. 2018. ISSN 2183-1084. Disponível em: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20180625/EkcKqHdfNomyIJTUthWk/cli_20180301_20180531_pcl_sz_co_pt.pdf
-
- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2018b). Boletim climatológico sazonal - Verão 2018. ISSN 2183-1084. https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20180917/wmcgbrWxZwzUlfhibaXw/cli_20180801_20180831_pcl_sz_co_pt.pdf
-
- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2018c). Boletim Climatológico Anual Portugal Continental 2018. https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20190131/ddliTNijyEWyfrhUMDTy/cli_20180901_20181231_pcl_aa_co_pt.pdf
-
- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2019a). Boletim climatológico sazonal - Primavera. ISSN 2183-1084. Disponível em: https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20190724/CXjeELicvntTvdns-VivR/cli_20190301_20190531_pcl_sz_co_pt.pdf
-
- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2019b). Boletim Climatológico Anual Portugal Continental 2019. https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20200318/piMisHmKRkiueuXQgHpM/cli_20191201_20191231_pcl_aa_co_pt.pdf
-
- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2019c). Boletim climatológico sazonal - Verão 2019. ISSN 2183-1084. https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20191115/tnUkmwJWSsRAdUmUVwgK/cli_20190601_20190831_pcl_sz_co_pt.pdf
-
- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2020a). Boletim climatológico sazonal - Primavera 2020. ISSN 2183-1084. https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20200619/GwPEBFfpUDWyulJGB-neX/cli_20200501_20200531_pcl_sz_co_pt.pdf
-
- IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2020b). Boletim climatológico sazonal - Verão 2020. ISSN 2183-1084. https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20200911/xkorPQYewLPgwFOlncAJ/cli_20200801_20200831_pcl_sz_co_pt.pdf
-
- ISO 4120 (2004) – Sensory Analysis –Triangular test.
-
- ISO 8586 (2012) – Sensory analysis – General guidelines for the selection, training and monitoring of select assessor and expert sensory assessor.
-
- ISO 8586-1 (1993) – Sensory Analysis – General guidance for selection, training and - Part 1: Selected assessors.
-
- ISO 8589 (1988) – Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms.
-
- IVV- Instituto da Vinha e do Vinho. (2024). Acedido a 21/07/2024. Disponível em: <https://www.ivv.gov.pt/np4/7179.html>
-
- Jha, A. B.; Warkentin, T. D. (2020). Biofortification of pulse crops: Status and future perspectives. *Plants*, 9(1), 73. <https://doi.org/10.3390/plants9010073>

- Jones-Moore, H.R.; Jelley, R.E.; Marangon, M.; Fedrizzi, B. (2021). The polysaccharides of winemaking: From grape to wine. *Trends in Food Science & Technology* 111, 731-740. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.019>
- Jordão, A.M.; Vilela, A.; Cosme, F. (2015). From sugar of grape to alcohol of wine: Sensorial impact of alcohol in wine. *Beverages* 1, 292-310. <https://doi.org/10.3390/beverages1040292>
- Jorge, N.F.; Clark, J.; Cárdenas, M.L.; Geoghegan, H.; Shannon, V. (2021). Measuring soil colour to estimate soil organic carbon using a large-scale citizen science-based approach. *Sustainability* 13, 11029. <https://doi.org/10.3390/su131911029>
- Kabata-Pendias.; Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants* (3^a Ed.). CRC Press, USA. ISBN 0-8495-6643-7.
- Kabir, A.H.; Swaraz, A.M.; Stangoulis, J. (2014). Zinc-deficiency resistance and biofortification in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177, 311–319. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300326>
- Kapcsándi, V.; Lakatos, E.H.; Sik, B., Linka; L.Á.; Székelyhidi, R. (2021). Characterization of fatty acid, antioxidant, and polyphenol content of grape seed oil from different *Vitis vinifera* L. varieties. *OCL* 28, 30. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021017>
- Kaur, H.; Garg, N. (2021). Zinc toxicity in plants: a review. *Planta* 253, 129. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03642-z>
- Kaur, H.; Srivastava, S.; Goyal, N.; Walia, S. (2024). Behavior of zinc in soils and recent advances on strategies for ameliorating zinc phyto-toxicity. *Environmental and Experimental Botany* 105676. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105676>
- Khaliq, A.; Comba, L.; Biglia, A.; Aimonino, D.R.; Chiaberge, M.; Gay, P. (2019). Comparison of satellite and UAV-based multispectral imagery for vineyard variability assessment. *Remote Sensing* 11, 436. <https://doi.org/10.3390/rs11040436>
- Khan, H.R.; McDonald, G.K.; Rengel, Z. (2004). Zinc fertilization and water stress affects plant water relations, stomatal conductance and osmotic adjustment in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Plant Soil* 267, 271–284. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-0120-7>
- Khan, M.I.R.; Nazir, F.; Maheshwari, C.; Chopra, P.; Chhillar, H.; Sreenivasulu, N. (2023). Mineral nutrients in plants under changing environments: A road to future food and nutrition security. *The Plant Genome* 16(4), e20362. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20362>
- Khan, S.T.; Malik, A.; Alwarthan, A.; Shaik, M.R. (2021a). The enormity of the Zinc deficiency problem and available solutions; an overview. *Arabian Journal of Chemistry* 15, 103668. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103668>
- Khan, N.; Ray, R.L.; Sargani, G.R.; Ihtisham, M.; Khayyam, M.; Ismail, S. (2021b). Current progress and future prospects of agriculture technology: Gateway to sustainable agriculture. *Sustainability* 13, 4883. <https://doi.org/10.3390/su13094883>
- Kihara, J.; Bolo, P.; Kinyua, M.; Rurinda, J.; Piikki, K. (2020). Micronutrient deficiencies in African soils and the human nutritional nexus: opportunities with staple crops. *Environmental Geochemistry and Health* 42, 3015–3033. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00499-w>

- Klughammer C.; Schreiber U. (2008). Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the saturation pulse method. PAM Application Notes 1, 27-35.
- Köse, B.; Horuz, A.; Akınoğlu, G. (2016). Phenological changes of leaf nutrients in *Vitis labrusca* L. grape grafted on different rootstocks in heavy clay soil conditions. Erwerbs-Obstbau 58(3). <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0279-5>
- Kotsaki, E.; Reynolds, A.G.; Brown, R.; Lee, H.S.; Jollineau, M. (2020). Spatial variability in soil and vine water status in Ontario vineyards: Relationships to yield and berry composition. American Journal of Enology and Viticulture 71, 132-148. <https://doi.org/10.20870/oenone.2020.54.2.2401>
- Kramer, D.M.; Johnson, G.; Kiirats, O.; Edwards, G.E. (2004). New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation fluxes. Photosynthesis Research 79, 209-218. <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d>
- Krause, G.H.; Jahns, P. (2004). Non-photochemical energy dissipation determined by chlorophyll fluorescence quenching: Characterization and function. Em Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis; Papageorgiou G.C., Govindjee, Eds.; Springer, Dordrecht, Holanda, pp. 463-495.
- Krishna, T.P.A.; Maharajan, T.; Roch, G.V.; Ignacimuthu, S.; Ceasar, S.A. (2020). Structure, function, regulation and phylogenetic relationship of ZIP family transporters of plants. Frontiers in Plant Science 11, 662. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00662>
- Kumar, A.; Kumar, S.; Mohapatra, T. (2021). Interaction between macro- and micro-nutrients in plants. Frontiers in Plant Science 12, 665583. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.665583>
- Kupe, M.; Sayıncı, B.; Demir, B.; Ercisli, S.; Baron, M.; Sochor, J. (2021). Morphological characteristics of grapevine cultivars and closed contour analysis with elliptic fourier descriptors. Plants (Basel) 10(7), 1350. <https://doi.org/10.3390/plants10071350>.
- Kurešová, G.; Menšík, L.; Haberle, J.; Svoboda, P.; Raimanova, I. (2019). Influence of foliar micronutrients fertilization on nutritional status of apple trees. Plant, Soil and Environment 65, 320–327. <https://doi.org/10.17221/196/2019-PSE>
- Lehvy, A.I.; Horev, G.; Golan, Y.; Glaser, F.; Shammai, Y.; Assaraf, Y.G. (2019). Alterations in ZnT1 expression and function lead to impaired intracellular zinc homeostasis in cancer. Cell Death Discovery 5, 144. <https://doi.org/10.1038/s41420-019-0224-0>
- Liang, Z.; Sang, M.; Fan, P.; Wu, B.; Wang, L.; Yang, S.; Li, S. (2011). CIELAB coordinates in response to berry skin anthocyanins and their composition in Vitis. Journal of food science 76(3), C490-C497. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02095.x>
- Lidon, F.J.; Silvestre, M.M. (2007). Indústrias alimentares- Aditivos e tecnologia. Escolar editora, Lisboa, Portugal, pp.315-318. ISBN 978-972-592-203-3
- Lin, P-H.; Sermersheim, M.; Li, H.; Lee, P.H.U.; Steinberg, S.M.; Ma, J. (2017). Zinc in wound healing modulation. Nutrients 10, 16. <https://doi.org/10.3390/nu10010016>

- Liu, D.; Liu, Y.; Zhang, W.; Chen, X.; Zou, C. (2017). Agronomic approach of zinc biofortification can increase zinc bioavailability in wheat flour and thereby reduce zinc deficiency in humans. *Nutrients* 9, 465. <https://doi.org/10.3390/nu9050465>
- Liu, Z.; Zhu, C.; Sun, J.; Zhang, Z.; Zhao, S.; Shi, W.; Wang, W.; Zhao, B. (2023). Influence of rootstock on endogenous hormones and color change in Cabernet Sauvignon grapes. *Scientific Reports* 13, 6608. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33089-z>
- Lopes S.O.; Abrantes, L. C. S.; Azevedo, F.M.; Morais, N.S.; Morais, D.C.; Gonçalves, V.S. S.; Fontes, E.A.F.; Franceschini, S.D.C.C.; Priore, S.E. (2023). Food insecurity and micronutrient deficiency in adults: A systematic review and meta-Analysis. *Nutrients* 15(5), 1074. <https://doi.org/10.3390/nu15051074>
- Lorena, A.; Cordeiro, A.I. (2020). A *vitis vinifera* e as suas potencialidades. *Revista Voz do campo*. Acedido a 10/04/2024. Disponível em: <https://vozdocampo.pt/2022/12/19/a-vitis-vinifera-e-as-suas-potencialidades/>
- Loures, L.; Chamizo, A.; Ferreira, P.; Loures, A.; Castanho, R.; Panagopoulos, T. (2020). Assessing the effectiveness of precision agriculture management systems in mediterranean small farms. *Sustainability* 12, 3765. <https://doi.org/10.3390/su12093765>
- Lowe, N. M.; Hall, A. G.; Broadley, M. R.; Foley, J.; Boy, E.; Bhutta, Z. A. (2024). Preventing and controlling zinc deficiency across the life course: A call to action. *Advances in Nutrition*, 100181. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100181>
- Luís, I.C.; Lidon, F.C.; Pessoa, C.C.; Marques, A.C.; Coelho, A.R.F.; Simões, M.; Patanita, M.; Dôres, J.; Ramalho, J.C.; Silva, M.M.; Almeida, A.S.; Pais, I.P.; Pessoa, M.F.; Reboredo, F.H.; Legoinha, P.; Guerra, M.; Leitão, R.G.; Campos, P.S. (2021). Zinc enrichment in two contrasting genotypes of *Triticum aestivum* L. grains: Interactions between edaphic conditions and foliar fertilizers. *Plants*, 10, 204. <https://doi.org/10.3390/plants10020204>
- Lyons, G.; Cakmak, I. (2012). Agronomic biofortification of food crops with micronutrients. *Fertilizing crops to improve human health: a scientific review*, 1, 97-122.
- Ma, X.; Han, F.; Wu, J.; Ma, Y.; Jacoby, P.W. (2023). Optimizing crop water productivity and altering root distribution of Chardonnay grapevine (*Vitis vinifera* L.) in a silt loam soil through direct root-zone deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 277, 108072. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108072>
- Magalhães, N. (2008). *Tratado de Viticultura - A videira, a Vinha e o "Terroir"*, 1ª ed.; Publicações S.A, Chaves-Ferreira (Lisboa), Portugal. ISBN: 9789728987152
- Magalhães, N. (2015). *Tratado de Viticultura: A videira, a vinha, o Terroir*, 2ª ed.; Publicações S.A, Chaves-Ferreira (Lisboa), Portugal. ISBN: 9789899820739
- Maia, M. M. L. (2013). *Influência das condições climáticas na produção e qualidade vitivinícola da sub-região de Castelo Rodrigo entre 1992 e 2012*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Letras. Universidade de Coimbra. Acedido em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/36084/1/Influencia%20das%20condicoes%20climaticas%20na%20producao%20e%20qualidade%20vitivinicola.pdf>
- Malakar, A.; Snow, D.D.; Ray, C. (2019). Irrigation water quality—A contemporary perspective. *Water* 11(7), 1482. <https://doi.org/10.3390/w11071482>

- Marques, D.J.; Bianchini, H.C.; Lobato, A.K.S.; Silva, W.F. (2018). Potassium fertilization in the production of vegetables and fruits. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72854>
- Marschner, P. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd ed.; Academic Press: San Diego, CA, E.U.A.
- Martens, D.C.; Westermann, D.T. (1991). Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. Em *Micronutrients in Agriculture*: Mordvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M., Eds.; SSSA Book Series, Madison, E.U.A, pp. 549–592.
- Martin, M.E.; Grao-Cruces, E.; Millan-Linares, M.C.; Montserrat-de la Paz, S. (2020). Grape (*Vitis vinifera* L.) Seed oil: A functional food from the winemaking industry. *Foods* 9, 1360. <https://doi.org/10.3390/foods9101360>
- Martínez-Moreno, A.; Pérez-Álvarez, E.P.; Intrigliolo, D.S.; Mirás-Avalos, J.M.; López-Urrea, R.; Gil-Muñoz, R.; Lizama, V.; Álvarez, M.I.; Buesa, I. (2023). Effects of deficit irrigation with saline water on yield and grape composition of *Vitis vinifera* L. cv. Monastrell. *Irrigation Science* 41(4), 469-485. <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00795-x>
- Martins, M.Q.; Rodrigues, W.P.; Fortunato, A.S.; Leitão, A.E.; Rodrigues, A.P.; Pais, I.P.; Martins, L.D.; Silva, M.J.; Reboredo, F.H.; Partelli, F.L.; Campostrini, E.; Tomaz, M.A.; Scotti-Campos, P.; Ribeiro-Barros, A.I.; Lidon, F.C.; DaMatta, F.M.; Ramalho, J.C. (2016). Protective response mechanisms to heat stress in interaction with high [CO₂] conditions in *Coffea* spp. *Frontiers in Plant Science* 7, 947. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00947>
- Martins, V.; Cunha, A.; Gerós, H.; Hanana, M.; Blumwald, E. (2012). Mineral compounds in grape berry. *The Biochemistry of the grape berry* 2, 23-43. Acedido a 08/10/2024. Disponível em: https://elearning.unite.it/pluginfile.php/300557/mod_resource/content/1/TheBiochemistryoftheGrapeBerry_compressed.pdf
- Martins, V.; Cunha, A.; Gerós, H.; Hanana, M.; Blumwald, E. (2019). Chapter 2- The biochemistry of the grape berry. Gerós, H.; Chaves, M.; Delrot, S. Eds.; Bentham Science Publishers, pp. 23-43. ISBN: 1608053601
- Masuero, D.; Škrab, D.; Chitarrini, G.; Garcia-Aloy, M.; Franceschi, P.; Sivilotti, P.; Guella, G.; Vrhovsek, U. (2021). Grape lipidomics: An extensive profiling thorough UHPLC-MS/MS Method. *Metabolites* 11, 827. <https://doi.org/10.3390/metabo11120827>
- Mazliak, P. (1983). Plant membrane lipids: changes and alterations during aging and senescence. Em *Postharvest physiology and crop preservation*; Lieberman, M. Ed.; Plenum Press, Nova Iorque, E.U.A., pp. 123-140.
- McBeath, T.M.; McLaughlin, M.J. (2014). Efficacy of zinc oxides as fertilisers. *Plant Soil* 374, 843–855. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1919-2>
- Medlicott, A.; Thompson, A. (1985). Analysis of sugar and organic acids in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var Keitt) by high performance liquid chromatography. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36(7), 561-566. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740360707>
- Menezes, H.D.N.; Oliveira, V.D.S.; Lima, A.M.N.; Mendes, A.M.S.; Bassoi, L. (2013). Micronutrientes em uva de videira *Vitis vinifera* cv Syrah cultivada sob diferentes estratégias de irrigação no Vale do Submédio São Francisco. Em: Congresso Brasileiro de Ciências do solo. Viçosa, M.G. Ed.; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Florianópolis, Brasil, pp.1-4.

Acedido a 16/05/2024. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90422/1/Bassoi.pdf>

- Mezlini, W.; Amor, R.B.; Beneduci, A.; Romdhane, I.B.; Shammas, M.I.; Almazroui, M.; Attia, R. (2024). Effects of irrigation water quality on soil physico-chemical proprieties: Cases study in north-west of Tunisia. *Earth Systems and Environment* 1-21. <https://doi.org/10.1007/s41748-024-00422-z>
- Miladinov, G. (2023). Impacts of population growth and economic development on food security in low-income and middle-income countries. *Frontiers in Human Dynamics* 5, 1121662. <https://doi.org/10.3389/fhumd.2023.1121662>
- Mohamad, N.S.; Tan, L.L.; Ali, N.I.M.; Mazlan, N-F.; Sage, E.E.; Hassan, N.I.; Goh, C.T. (2023). Zinc status in public health: exploring emerging research trends through bibliometric analysis of the historical context from 1978 to 2022. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 28422–28445. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25257-5>
- Mohammed, S.; Alsafadi, K.; Enaruvbe, G.O.; Harsányi, E. (2021). Assessment of soil micro-nutrient level for vineyard production in southern Syria. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01104-9>
- Moreno-Lora, A.; Delgado, A. (2020). Factors determining Zn availability and uptake by plants in soils developed under Mediterranean climate. *Geoderma* 376, 114509. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114509>
- Moritsuka, N.; Matsuoka, K.; Katsura, K.; Yanai, J. (2019). Farm-scale variations in soil color as influenced by organic matter and iron oxides in Japanese paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition* 65(2), 166–175. <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1583542>
- Naeem, M.; Naeem, M.S.; Ahmad, R.; Ihsan, M.Z.; Ashraf, M.Y.; Hussain, Y.; Fahad, S. (2017). Foliar calcium spray confers drought stress tolerance in maize via modulation of plant growth, water relations, proline content and hydrogen peroxide activity. *Archives of Agronomy and Soil Science* 64(1), 116-131. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1327713>
- Natasha, N., Shahid, M., Bibi, I., Iqbal, J., Khalid, S., Murtaza, B.; Bakhat, H.F.; Farooq, A.B. U.; Amjad, M.; Hammad, H.M.; Arshad, M. (2022). Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review. *Science of the Total Environment* 808, 152024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152024>
- Niu, J.; Liu, C.; Huang, M; Liu, K.; Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: a Review of current status and future perspectives. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 21, 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
- Noulas, C.; Tziouvalekas, M.; Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 49, 252-260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>
- OIV- Organização Internacional da Vinha e do Vinho. (2009). Method OIV-MA-AS323-04B (Sulfur dioxide- Resolution Oeno 377/2009). Acedido a 9/07/2024. Disponível em: <https://www.oiv.int/public/medias/2582/oiv-ma-as323-04b.pdf>
- OIV- Organização Internacional da Vinha e do Vinho. (2019). OIV-MA-C1-01 Maximum acceptable limits of various substances contained in wine. Acedido a 23/07/2024. Disponível em:

<https://www.oiv.int/standards/compendium-of-international-methods-of-wine-and-must-analysis/annex-c/annex-c-maximum-acceptable-limits-of-various-substances/maximum-acceptable>

- OIV- Organização Internacional da Vinha e do Vinho. (2022). Acedido a 13/02/2024. Disponível em: <https://www.oiv.int/standards/international-code-of-oenological-practices/annexes/maximum-acceptable-limits>
- Ojeda-Barrios, D.L.; Cruz-Alvarez, O.; Sánchez-Chavez, E.; Ciscomani-Larios, J.P. (2023). Effect of foliar application of zinc on annual productivity, foliar nutrients, bioactive compounds and oxidative metabolism in pecan. *Folia Horticulturae* 35(1), 179-192. <https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0014>
- Olego, M.Á.; Cuesta Lasso, M.; Quiroga, M.J.; Visconti, F.; López, R.; Garzón-Jimeno, E. (2022). Effects of leonardite amendments on vineyard calcareous soil fertility, vine nutrition and grape quality. *Plants* 11(3), 356. <https://doi.org/10.3390/plants11030356>
- Olivares, D.; Contreras, C.; Muñoz, V.; Rivera, S.; González-Agüero, M.; Retamales, J.; Defilippi, B.G. (2017). Relationship among color development, anthocyanin and pigment-related gene expression in ‘Crimson Seedless’ grapes treated with abscisic acid and sucrose. *Plant Physiology and Biochemistry* 115, 286-297. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.007>
- Oliveira, M.M.; Lobo Ferreira, J.P. (2002). Proposta de uma metodologia para a definição de áreas de infiltração máxima. Em 6th National Water Congress, Maio. p.16.
- Olsen, S.R (1972). Micronutrient interactions. Em *Micronutrients in Agriculture*; Mortvedt, J.J.; Giordano, P.M.; Lindsay, W.L. Eds.; Soil science society of america: Madison, Wisconsin, E.U.A, 1972; pp. 243–261.
- Olza, J.; Aranceta-Bartrina, J.; González-Gross, M.; Ortega, R.M.; Serra-Majem, L.; Varela-Moreiras, G.; Gil, Á. (2017). Reported dietary intake and food sources of zinc, selenium, and vitamins A, E and C in the spanish population: Findings from the ANIBES study. *Nutrients* 9(7), 697. <https://doi.org/10.3390/nu9070697>
- Pérez-Navarro, J.; Da Ros, A.; Masuero, D.; Izquierdo-Cañas P. M.; Hermosín-Gutiérrez, I.; Gómez-Alonso, S.; Mattivi, F.; Vrhovsek, U. (2019). LC-MS/MS analysis of free fatty acid composition and other lipids in skins and seeds of *Vitis vinifera* grape cultivars. *International Food Research Journal* 125, 108556. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108556>
- Pessoa, C.C.; Lidon, F.C.; Coelho, A.R.F.; Marques, A.C.; Daccak, D.; Luís, I.C.; Caleiro, J.C.; Kullberg, J.C.; Legoinha, P.; Brito, M.G.; Ramalho, J.C.; Silva, M.J.; Rodrigues, A.P.; Guerra, M.; Leitão, R.G.; Campos, P.S.; Pais, I.P.; Semedo, J.N.; Silva, M.M.; Galhano, C.; Leal, N.; Reboredo, F.H.; Pessoa, M.F.; Simões, M. (2022). Magnesium accumulation in two contrasting varieties of *Lycopersicon esculentum* L. fruits: Interaction with calcium at tissue level and implications on quality. *Plants* 11, 1854. <https://doi.org/10.3390/plants11141854>
- Pessoa, M.F.; Scotti-Campos, P.; Pais, I.; Feteiro, A.; Canuto, D.; Simões, M.; Pelica, J.; Pataco, I.; Ribeiro, V.; Reboredo, F.H.; Ramalho, J. C.; Lidon, F.C. (2016). Nutritional profile of the Portuguese cabbage (*Brassica oleracea* L var. costata) and its relationship with the elemental soil analysis. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 28, 381–388. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-04-338e>

- Phattarakul, N.; Rerkasem, B.; Li, L.J.; Wu, L.H.; Zou, C.Q.; Ram, H.; Sohu, V.S.; Kang, B.S.; Surek, H.; Kalayei, M.; Yazici, A.; Zhang, F.S.; Cakmak, I. (2012). Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. *Plant and Soil* 361, 131-141. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1211-x>
- Pires, S.M.; Reis, R.S.; Cardoso, S.M.; Pezzani, R.; Paredes-Osses, E.; Seilkhan, A.; Ydyrys, A.; Martorell, M.; Martorell, M.; Güreler, E.S.; Setzer, W.N.; Razis, A.F.A.; Modu, B.; Calina, D.; Sharifi-Rad, J. (2023). Phytates as a natural source for health promotion: A critical evaluation of clinical trials. *Frontiers in Chemistry* 11, 1174109. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1174109>
- Poblaciones, M.J.; Rengel, Z (2016). Soil and foliar zinc biofortification in field pea (*Pisum sativum* L.): Grain accumulation and bioavailability in raw and cooked grains. *Food Chemistry* 212, 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.189>
- PortFIR - Plataforma portuguesa de informação alimentar. (2024a). Composição de alimentos – Uva branca (5 castas). Acedido a 10/07/2024. Disponível em: <https://jspapp.test.insa.foodcase-services.com/foodcomp/food?23426>
- PortFIR - Plataforma portuguesa de informação alimentar. (2024b). Composição de alimentos – Uva tinta (5 castas). Acedido a 10/07/2024. Disponível em <https://jspapp.test.insa.foodcase-services.com/foodcomp/food?24142>
- Prada, J., Dinis, L-T., Soriato, E.; Vandelle, E.; Soletkin, O.; Uysal, S.; Dihazi, A.; Santos, C.; Santos, J.A. (2024). Climate change impact on Mediterranean viticultural regions and site-specific climate risk-reduction strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 29, 52. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10146-0>
- Praharaj, S.; Skalicky, M.; Maitra, S.; Bhadra, P.; Shankar, T.; Brestic, M.; Hejnak, V.; Vachova, P.; Hossain, A. (2021). Zinc biofortification in food crops could alleviate the zinc malnutrition in human health. *Molecules* 26, 3509. <https://doi.org/10.3390/molecules26123509>
- Prasad, R.; Shivay, Y.S (2016). Sulphur in soil, plant and human nutrition. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India*, 88, 429–434. <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0769-0>
- Prasad, R.; Shivay, Y.S.; Kumar, D. (2016). Interactions of zinc with other nutrients in soils and plants-A Review. *Indian Journal of Fertilisers* 12(5), 16-26.
- Qian, X.; Sun, L.; Xu, X.Q.; Zhu, B.Q.; Xu, H.Y. (2017). Differential expression of VvLOXA diversifies C6 volatile profiles in some *Vitis vinifera* table grape cultivars. *International Journal of Molecular Sciences* 18, 2705. <https://doi.org/10.3390/ijms18122705>
- Radočaj, D.; Šiljeg, A.; Marinović, R.; Jurišić, M. (2023). State of major vegetation indices in precision agriculture studies indexed in web of science: A review. *Agriculture* 13, 707. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030707>
- Ramalho, J.C.; Roda, F.A.; Pessoa, M.F.G.; Reboredo, F.H.; Pais, I.P.; Ndayiragije, A.; Lidon, F.C.; Ribeiro-Barros, A.I. (2020). Chapter 8- Selenium agronomic biofortification in rice: Improving crop quality against malnutrition. Em *The future of rice demand: Quality beyond productivity*, 1ª ed.; Oliveira, A.C.; Pegoraro, C.; Viana, V.E. Eds.; Springer: Cham, Suíça, pp. 179-180. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2>

- Ramalho, J.C.; Zlatev, Z.S.; Leitão, A.E.; Pais, I.P.; Fortunato, A.S.; Lidon, F.C. (2013). Moderate water stress causes different stomatal and non-stomatal changes in the photosynthetic functioning of *Phaseolus vulgaris* L. genotypes. *Plant Biology* 16, 133–146. <https://doi.org/10.1111/plb.12018>
- Ramos, M.C.; Romero, M. P. (2016). Effects of soil characteristics and leaf thinning on micro-nutrient uptake and redistribution in 'Cabernet Sauvignon'. *VITIS-Journal of Grapevine Research* 55(3), 113-120. <https://doi.org/10.5073/vitis.2016.55.113-120>
- Ranganath, K.G. (2022). Pigments that colour our fruits: An overview. *Erwerbs-Obstbau* 64, 535–547. <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00698-3>
- Reboredo, F. (1994). Interaction between copper and zinc and their uptake by *Halimione portulacoides* (L.) Aellen. *Journals Bulletin of environmental contamination and toxicology* 52, 598–605. <https://doi.org/10.1007/BF00194149>
- Reboredo, F.H.; Pelica, J.; Lidon, F.C.; Ramalho, J.C.; Pessoa, M.F.; Calvão, T.; Simões, M.; Guerra, M. (2018). Heavy metal content of edible plants collected close to an area of intense mining activity (southern Portugal). *Environmental monitoring and assessment* 190, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6844-7>
- Regulamento 2020/975 (UE): Regulamento de Execução (UE) n°2020/975 da Comissão de 6 de julho de 2020 que autoriza acordos e decisões relativos a medidas de estabilização do mercado no setor do vinho. Acedido a: 14/07/2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0975&from=ES>
- Regulamento 491/2009 (CE): Regulamento do conselho de 25 de Maio de 2009 que altera o Regulamento (CE) n.o 1234/2007 que estabelece uma organização comum dos mercados agrícolas e disposições específicas para certos produtos agrícolas. Acedido a: 14/07/2024. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0491>
- Rehman, A.; Farooq, M.; Ozturk, L.; Asif, M.; Siddique, K.H.M. (2018). Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant Soil* 422, 283–315. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3507-3>
- Rhyma, P.P.; Norizah, K.; Hamdan, O.; Faridah-Hanum, I.; Zulfa, A. W. (2020). Integration of normalised different vegetation index and Soil-Adjusted vegetation index for mangrove vegetation delineation. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 17, 100280. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100280>
- Ricardo-Rodrigues, S.; Laranjo, M.; Coelho, R.; Martins, P.; Rato, A.E.; Vaz, M.; Valverde, P.; Shahidian, S.; Véstia, J.; Agulheiro-Santos, A.C. (2019). Terroir influence on quality of 'Crimson' table grapes. *Scientia Horticulturae* 245, 244–249. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.035>
- Rietra, R.P.; Heinen, M.; Dimkpa, C.O.; Bindraban, P.S. (2017). Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48(16), 1895-1920. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1407429>
- Roberts, D. P.; Mattoo, A.K. (2019). Sustainable crop production systems and human nutrition. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3, 72. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00072>

- Rocchi, L.; Rustioni, L.; Failla, O. (2016). Chlorophyll and carotenoid quantifications in white grape (*Vitis vinifera* L.) skins by reflectance spectroscopy. *Vitis* 55(1), 11-16. <http://dx.doi.org/10.5073/vitis.2016.55.11-16>
- Rodier, J.; Legube, B.; Merlet, N. (2009). *L'Analyse de l'eau*, 9^a ed.; Dunod, Paris. p. 1600. ISBN: 9782100072460.
- Rodrigues, S.S.Q.; Dias, L.G.; Teixeira, A. (2024). Emerging methods for the evaluation of sensory quality of food: Technology at service. *Current Food Science and Technology Reports* 2, 77–90. <https://doi.org/10.1007/s43555-024-00019-7>
- Rodrigues, W.P.; Martins, M.Q.; Fortunato, A.S.; Rodrigues, A.P.; Semedo, J.N.; Simões-Costa, M.C.; Pais, I.P.; Leitão, A.E.; Colwell, F.; Goulao, I.; Máguas, C.; Partelli, F.L.; Campostrini, E.; Scotti-Campos, P.; Ribeiro-Barros, A.I.; Lidon, F.C.; DaMatta, F.M.; Ramalho, J.C. (2016). Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global Change Biology* 22, 415-431. <https://doi.org/10.1111/gcb.13088>
- Rogiers, S.Y.; Greer, D.H.; Hatfield, J.M.; Orchard, B.A.; Keller, M. (2006). Mineral sinks within ripening grape berries (*Vitis vinifera* L.). *Vitis-Geilweilerhof-* 45(3), 115. <https://doi.org/10.5073/vitis.2006.45.115-123>
- Rolle, L.; Gerbi, V.; Schneider, A.; Spanna, F.; Río Segade, S. (2011). Varietal relationship between instrumental skin hardness and climate for grapevines (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(19), 10624-10634. <https://doi.org/10.1021/jf203254k>
- Rolle, L.; Torchio, F.; Ferrandino, A.; Guidoni, S. (2012). Influence of wine-grape skin hardness on the kinetics of anthocyanin extraction. *International Journal of Food Properties* 15(2), 249-261. <https://doi.org/10.1080/10942911003778022>
- Rolle, L.; Torchio, F.; Giacosa, S.; Segade, S.R. (2015). Berry density and size as factors related to the physicochemical characteristics of Muscat Hamburg table grapes (*Vitis vinifera* L.). *Food Chemistry* 173, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.033>
- Rouxinol, M.I.; Martins, M.R.; Barroso, J.M.; Rato, A.E. (2023). Wine grapes ripening: A review on climate effect and analytical approach to increase wine quality. *Applied Biosciences* 2, 347–372. <https://doi.org/10.3390/applbiosci2030023>
- Rudani, K.; Patel, V.; Prajapati, K. (2018). The importance of zinc in plant growth—A review. *International Research Journal of Natural And Applied Sciences* 5, 38–48. ISSN: 2349-4077
- Rustioni, L.; Rocchi, L.; Failla, O. (2015). Effect of anthocyanin absence on white berry grape (*Vitis vinifera* L.). *Vitis* 54, 239-242. ISSN 0042-7500.
- Ryugo, K (1993). *Ciencia y arte: Cosechas de enredaderas y arbustos frutales*. Em *Fruticultura*, 1^a ed.; AGT, Ed.; AGT Editor: Mexico City, Mexico.
- Sabino, L.L.; de Castilhos, M.B.M. (2023). Total and volatile acidity: Traditional and advanced methods. Em: Machado de Castilhos, *Basic protocols in enology and winemaking. Methods and protocols in food science.*; M.B., Eds.; Humana, Nova Iorque, E.U.A. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3088-4_1

- Saboor, A.; Ali, M.A.; Ahmed, N.; Skalicky, M.; Danish, S.; Fahad, S.; Hassan, F.; Hassan, M.M.; Brestic, M.; Sabagh, A.E.; Datta, R. (2021). Biofertilizer-based zinc application enhances maize growth, gas exchange attributes, and yield in zinc-deficient soil. *Agriculture* 2021, 11, 310. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040310>
- Sabra, A.; Netticadan, T.; Wijekoon, C. (2021). Grape bioactive molecules, and the potential health benefits in reducing the risk of heart diseases. *Food Chemistry X* 12, 100149. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100149>
- Sala, F.; Camen, D.; Herbei, M. V.; Blidariu, C. (2024). Analysis of vine nutrition and productivity based on statistical indicators. *Horticulturae* 10(4), 397. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040397>
- Saleem, M.H; Usman, K.; Rizwan, M.; Al Jabri, H.; Alsafran, M. (2022). Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science* 13, 1033092. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033092>
- Sangeetha, V.J.; Dutta, S.; Moses, J.A.; Anandharamkrishnan, C. (2022). Zinc nutrition and human health: overview and implications. *EFood* 3(5), e17. <https://doi.org/10.1002/efd2.17>
- Santos, E.F.; Pongrac, P.; Reis, A.R.; Rabêlo, F.H.S.; Azevedo, R.A.; White, P.J.; Lavres, J. (2021). Unravelling homeostasis effects of phosphorus and zinc nutrition by leaf photochemistry and metabolic adjustment in cotton plants. *Scientific Reports* 11, 13746. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93396-1>
- Santos, J.A.; Fraga, H.; Malheiro, A.C.; Moutinho-Pereira, J.; Dinis, L.T.; Correia, C.; Moriondo, M.; Leolini, L.; Dibari, C.; Costafreda-Aumedes, S.; Kartschall, T.; Menz, C.; Molitor, D.; Junk, J.; Beyer, M.; Schultz, H.R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences* 10(9), 3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- Sathishkumar, A.; Sakthivel, N.; Subramanian, E.; Rajesh, P. (2020). Productivity of field crops as influenced by foliar spray of nutrients: A review. *Agricultural Reviews* 41, 146–152. <https://doi.org/10.18805/ag.R-1991>
- Scarpore, F.V.; Scarpore Filho, J.A.; Rodrigues, A.; Reichardt, K.; Angelocci, L.R. (2012). Growing degree-days for the ‘Niagara Rosada’ grapevine pruned in different seasons. *International Journal of Biometeorology* 56, 823–830. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0484-8>
- Schreiber, U. (2004). Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: An overview. In *Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis*; Papageorgiou, G.C.; Govindjee Eds.; Springer, Dordrecht, Holanda, pp. 279-319. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_11
- Segade, S.R.; Rolle, L.; Gerbi, V.; Orriols, I. (2008). Phenolic ripeness assessment of grape skin by texture analysis. *Journal of Food Composition and Analysis* 21(8), 644-649. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.06.003>
- Segade, S.R.; Giacosa, S.; Torchio, F.; de Palma, L.; Novello, V.; Gerbi, V.; Rolle, L. (2013). Impact of different advanced ripening stages on berry texture properties of ‘Red Globe’ and ‘Crimson Seedless’ table grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Scientia Horticulturae* 160, 313-319. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.017>

- Sekaran, U.; Lai, L.; Ussiri, D. A.; Kumar, S.; Clay, S. (2021). Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security—A review. *Journal of Agriculture and Food Research* 5, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190>
- Serviços Geológicos de Portugal, LNEG. (1966). Carta Geológica de Portugal à escala 1/50.000, folha 35C – Folha 35-C - Santo Isidro de Pegões. Acedido em: 25-10-2024. Disponível em: https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/cartografia_geologica/cgp50k/35-C
-
- Serviços Geológicos de Portugal, LNEG. (1968). Notícia explicativa da Folha 35-C - Santo Isidro de Pegões da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50.000, folha 35C. Acedido em: 25-10-2024. Disponível em: <https://geoportal.lneg.pt/download/maps/50k/news/35-C.pdf>
- Shahane, A. A.; Shivay, Y. S. (2021). Soil health and its improvement through novel agronomic and innovative approaches. *Frontiers in Agronomy* 3, 680456. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.680456>
- Sharafan, M.; Malinowska, M.A.; Kubicz, M.; Kubica, P.; Gémin, M.-P.; Abdallah, C.; Ferrier, M.; Hano, C.; Giglioli-Guivarc'h, N.; Sikora, E.; Lanoue, A.; Szopa, A. (2023). Shoot cultures of *Vitis vinifera* (Vine Grape) different cultivars as a promising innovative cosmetic raw material—Phytochemical profiling, antioxidant potential, and whitening activity. *Molecules* 28, 6868. <https://doi.org/10.3390/molecules28196868>
- Shaver, T.M.; Westfall, D.G.; Ronaghi, M. (2007). Zinc fertilizer solubility and its effects on zinc bioavailability over time. *Journal of Plant Nutrition* 30, 123–133. <https://doi.org/10.1080/01904160601055145>
- Shukla, A.K.; Behera, S.K.; Prakash, C.; Patra, A.K.; Rao, C.S.; Chaudhari, S.K.; Das, S.; Singh, A.K.; Green, A. (2021). Assessing multi-micronutrients deficiency in agricultural soils of India. *Sustainability* 13, 9136. <https://doi.org/10.3390/su13169136>
- Silva, A.; Noronha, H.; Dai, Z.; Delrot, S.; Gerós, H. (2017). Low source–sink ratio reduces reserve starch in grapevine woody canes and modulates sugar transport and metabolism at transcriptional and enzyme activity levels. *Planta* 246(3), 525-535. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2708-6>
- Silva, B.M.; Santos, W.J.R.D.; Oliveira, G.C.D.; Lima, J.M.D.; Curi, N.; Marques, J.J. (2015). Soil moisture space-time analysis to support improved crop management. *Ciência e Agrotecnologia* 39, 39–47. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542015000100005>
- Singh, J.; Kaur, H.; Kaur, R.; Garg, R.; Prasad, R.; Assouguem, A.; Kara, M.; Bahhou, J. (2023). A review on the nutritional value and health benefits of different parts of grape (*Vitis vinifera* L.). *Tropical Journal of Natural Product Research* 7(9). <http://www.doi.org/10.26538/tjnpr/v7i9.3>
- Singh, R.; Govindan, V. (2017). Zinc-Biofortified wheat: Harnessing genetic diversity for improved nutritional quality. *Science Brief: Biofortification*. CIMMYT, HarvestPlus, and the Global Crop Diversity Trust, Bonn, Alemanha. Acedido a 24/08/2023. Disponível em: https://www.harvestplus.org/wp-content/uploads/2017/05/Science-Brief-Biofortification-1_Zinc-Wheat_May2017.pdf
- Skoog, F. (1940). Relationships between zinc and auxin in the growth of higher plants. *American Journal of Botany* 27, 939–951. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1940.tb13958.x>

- Smoleń, S. (2012). Foliar nutrition: Current state of knowledge and opportunities. *Em Advances in Citrus Nutrition*; Srivastava, A. Ed.; Springer, Dordrecht, Holanda, pp. 42–43. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4171-3_4
- Solano-Alvarez, N.; Valencia-Hernández, J.A.; Vergara-Pineda, S.; Millán-Almaraz, J.R.; Torres-Pacheco, I.; Guevara-González, R.G. (2022). Comparative analysis of the NDVI and NGBVI as indicators of the protective effect of beneficial bacteria in conditions of biotic stress. *Plants* 2022, 11, 932. <https://doi.org/10.3390/plants11070932>
- Souza, J.C.; Crupi, P.; Colletta, A.; Antonacci, D.; Toci, A.T. (2022). Influence of vinification process over the composition of volatile compounds and sensorial characteristics of greek wines. *Journal of Food Science and Technology* 59, 1499–1509. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05160-y>
- Spinei, M.; Oroian, M. (2021). The potential of grape pomace varieties as a dietary source of pectic substances. *Foods* 10, 867. <https://doi.org/10.3390/foods10040867>
- Sturikova, H.; Krystofova, O.; Huska, D.; Adam, V. (2018). Zinc, zinc nanoparticles and plants. *Journal of Hazardous Materials* 349, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.040>
- Suarez, D.L.; Celis, N.; Anderson, R.G.; Sandhu, D. (2019). Grape rootstock response to salinity, water and combined salinity and water stresses. *Agronomy* 9, 321. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060321>
- Sultan, M.; Ashraf, H.; Miyazaki, T.; Shamshiri, R. R.; Hameed, I. A. (2021). Temperature and humidity control for the next generation greenhouses: Overview of desiccant and evaporative cooling systems. *Next-Generation Greenhouses for Food Security*, 25-47. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97273>
- Sultana, S.; Naser, H.M.; Akhter, S.; Begum, R.A. (2016). Effectiveness of soil and foliar applications of zinc and boron on the yield of tomato. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 41, 411–418. <https://doi.org/10.3329/bjar.v41i3.29712>
- Szabó, É.; Marosvölgyi, T.; Szilágyi, G.; Kőrösi, L.; Schmidt, J.; Csepregi, K.; Márk, L.; Bóna, Á. (2021). Correlations between total antioxidant capacity, polyphenol and fatty acid content of native grape seed and pomace of four different grape varieties in Hungary. *Antioxidants* 10, 1101. <https://doi.org/10.3390/antiox10071101>
- Tagarakis, A.; Liakos, V.; Fountas, S.; Koundouras, S.; Gemtos, T.A. (2013). Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precision Agriculture* 14, 18–39. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9275-4>
- Torielli, G.B.; Sandri, M.; Fasoli, M.; Amato, A.; Pezzotti, M.; Zuccolotto, P.; Zenoni, S. (2023). A molecular phenology scale of grape berry development. *Horticulture Research* 10(5), uhad048. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad048>
- Török, D.F. (2023). Machine learning for predicting wine quality and its key determinants based on physicochemical properties. *SSRAML* 6(11), 1–21. <https://journals.sagepub.com/index.php/ssraml/article/view/105>
- Tóth, A.M.; Zsófi, Z.; Veres, S. (2022). Cane girdling influence on the berry texture properties of three table grape varieties. *Horticulturae* 8, 1101. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121101>

- Trad, M.; Boge, M.; Hamda, H.B.; Renard, C.M.G.C.; Harbi, M. (2017). The Glucose-Fructose ratio of wild Tunisian grapes. *Cogent Food & Agriculture* 3, 1374156. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1374156>
- Triantafyllidis, V.; Kosma, A.K.C.; Patakas, A. (2018). An assessment of the soil quality index in a Mediterranean agro ecosystem. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 30, 1042–1050. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i12.1886>
- Tsonev, T.; Lidon, F.C. (2012). Zinc in plants—An overview. *Emirates Journal of Food & Agriculture* 24(4), 322–333.
- Tsoupras, A.; Ni, V.L.J.; O’Mahony, É.; Karali, M. (2023). Winemaking: “With one stone, two birds”? A holistic review of the bio-functional compounds, applications and health benefits of wine and wineries’ by-products. *Fermentation* 9, 838. <https://doi.org/10.3390/fermentation9090838>
- Underhill, A.N.; Hirsch, C.D.; Clark, M.D. (2020). Evaluating and mapping grape color using image-based phenotyping. *Plant Phenomics* 2020, 8086309. <https://doi.org/10.34133/2020/8086309>
- USDA- U.S. Department of Agriculture, FoodData Central. (2018). Acedido a 20/06/2024. Disponível em: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174683/nutrients>
- Uwitonze, A.M.; Ojeh, N.; Murererehe, J.; Atfi, A.; Razzaque, M.S. (2020). Zinc adequacy is essential for the maintenance of optimal oral health. *Nutrients* 12, 949. <https://doi.org/10.3390/nu12040949>
- Valença, A.W.; Bake, A.; Brouwer, I.D.; Giller, K.E. (2017). Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. *Global Food Security* 12, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.12.001>
- Valente, J.; Almeida, R.; Kooistra, L. (2019). A comprehensive study of the potential application of flying ethylene-sensitive sensors for ripeness detection in apple orchards. *Sensors* 19, 372. <https://doi.org/10.3390/s19020372>
- van Leeuwen, C.; Destrac-Irvine, A.; Dubernet, M.; Duchêne, E.; Gowdy, M.; Marguerit, E.; Pieri, P.; Parker, A.; Rességuier, de L.; Ollat, N. (2019). An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy* 9(9), 514. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090514>
- Vašeková, P.; Juráček, M.; Bíro, D.; Šimko, M.; Gálik, B.; Rolinec, M.; Hanušovský, O.; Koláthová, R.; Ivanišová, E. (2020). Bioactive compounds and fatty acid profile of grape pomace. *Acta fytotechnica et zootechnica* 23, 230-235. <https://doi.org/10.15414/afz.2020.23.04.230-235>
- Vázquez-Blanco, R.; González-Feijoo, R.; Campillo-Cora, C.; Fernández-Calviño, D.; Arenas-Lago, D. (2023). Risk Assessment and limiting soil factors for vine production—Cu and Zn contents in vineyard soils in Galicia (Rías Baixas D.O.). *Agronomy* 13, 309. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020309>
- Veloso, A.; Sempiterno, C.; Calouro, F.; Rebelo, F.; Pedra, F.; Castro, I.V.; Gonçalves, M.C. G.; Marcelo, M. E.; Pereira, P.; Fareleira, P.; Jordão, P.; Fernandes, R. (2022). Manual de fertilização das culturas, 3ª ed.; INIAV, Oeiras, Portugal, p.98.

- Velu, G.; Singh, R.P.; Huerta-Espino, J.; Peña, R.J. (2011). Breeding for enhanced zinc and iron concentration in CIMMYT spring wheat germplasm. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* 47, S174–S177. <https://doi.org/10.17221/3275-CJGPB>
- Vicente, J.; Baran, Y.; Navascués, E.; Santos, A.; Calderón, F.; Marquina, D.; Rauhut, D.; Benito, S. (2022). Biological management of acidity in wine industry: A review. *International Journal of Food Microbiology* 375, 109726. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109726>
- Vidigal, P.; Duarte, B.; Cavaco, A.R.; Caçador, I.; Figueiredo, A.; Matos, A.R.; Viegas, W.; Monteiro, F. (2018). Preliminary diversity assessment of an undervalued tropical bean (*Lablab purpureus* (L.) sweet) through fatty acid profiling. *Plant Physiology and Biochemistry* 132, 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.001>
- Vilela, A. (2019). Use of nonconventional yeasts for modulating wine acidity. *Fermentation* 5(1), 27. <https://doi.org/10.3390/fermentation5010027>
- Vilela, A.; Pinto, T. (2021). Grape infusions: Between nutraceutical and green chemistry. *Sustainable Chemistry* 2, 441-466. <https://doi.org/10.3390/suschem2030025>
- Vilela-Moura, A.; Schuller, D.; Mendes-Faia, A.; Côrte-Real, M. (2008). Reduction of volatile acidity of wines by selected yeast strains. *Applied Microbiology and Biotechnology* 80, 881-890. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1616-x>
- Viniportugal (2022). Acedido a 26/07/2024. Disponível em: <https://www.viniportugal.pt/pt/sector/estatisticas/>
- Visconti, F.; Paz, J.M. (2016). Electrical conductivity measurements in agriculture: The assessment of soil salinity. Em *New trends and developments in metrology*; Cocco, L. Ed.; IntechOpen, Londres, Inglaterra, pp. 99-126. <http://dx.doi.org/10.5772/62741>
- Walker, R.P.; Bonghi, C.; Varotto, S.; Battistelli, A.; Burbidge, C.A.; Castellarin, S.D.; Chen, Z.H.; Darriet, P.; Moscatello, S.; Rienh, M.; Sweetman, C.; Famiani, F. (2021). Sucrose metabolism and transport in grapevines, with emphasis on berries and leaves, and insights gained from a cross-species comparison. *International Journal of Molecular Sciences* 22, 7794. <https://doi.org/10.3390/ijms22157794>
- Wang, Q.; Moreno-Martínez, Á.; Muñoz-Marí, J.; Campos-Taberner, M.; Camps-Valls, G. (2023). Estimation of vegetation traits with kernel NDVI. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 195, 408-417. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.12.019>
- Wang, S.; Tian, X.; Liu, Q. (2020). The effectiveness of foliar applications of zinc and biostimulants to increase zinc concentration and bioavailability of wheat grain. *Agronomy* 10, 178. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020178>
- Webb, E.C. (1992). Enzyme nomenclature, recommendations of the nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology; Academic Press: Nova Iorque, E.U.A, p. 862.
- Wei, Y.; Shohag, M.J.; Yang, X. (2012). Biofortification and bioavailability of rice grain zinc as affected by different forms of foliar zinc fertilization. *PLoS ONE* 7, e45428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0045428>

- White, P.J.; Brown, P.H. (2010). Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 105(7), 1073-80. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq085>
- White, P.J.; Thompson, J.A.; Wright, G.; Rasmussen, S.K. (2017). Biofortifying scottish potatoes with zinc. *Plant and soil* 411, 151-165. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2903-4>
- Xia, H.; Wang, L.; Qiao, Y.; Kong, W.; Xue, Y.; Wang, Z.; Kong, L.; Xue, Y.; Sizmur, T. (2020). Elucidating the source–sink relationships of zinc biofortification in wheat grains: A review. *Food Energy Secur* 9, e243. <https://doi.org/10.1002/fes3.243>
- Yilmaz, T.; Ates, F.; Turan, M.; Hatterman-Valenti, H.; Kaya, O. (2024). Dynamics of sugars, organic acids, hormones, and antioxidants in grape varieties ‘Italia’ and ‘Bronx Seedless’ during berry development and ripening. *Horticulturae* 10, 229. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030229>
- Zagrodzki, P.; Jancik, M.; Piątek, W.; Folta, M.; Dobrowolska-Iwanek, J. (2023). Changes in selected chemical and sensory parameters during aging of red wines produced in Poland. *European Food Research and Technology* 249, 1915–1924. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04264-3>
- Zenda, T.; Liu, S.; Dong, A.; Duan, H. (2021). Revisiting sulphur—The once neglected nutrient: It’s roles in plant growth, metabolism, stress tolerance and crop production. *Agriculture* 11, 626. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070626>
- Zhang, D. (2021). Comparison of sugars, organic acids and aroma components of five table grapes in Xinjiang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 792, 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/792/1/012029>
- Zhou, D.-D.; Li, J.; Xiong, R.-G.; Saimaiti, A.; Huang, S.-Y.; Wu, S.-X.; Yang, Z.-J.; Shang, A.; Zhao, C.-N.; Gan, R.-Y.; Li, H.-B. (2022). Bioactive compounds, health benefits and food applications of grape. *Foods* 11, 2755. <https://doi.org/10.3390/foods11182755>
- Zhu, X.G.; Ort, D.R.; Whitmarsh, J.; Long, S.P. (2004). The slow reversibility of photosystem II thermal energy dissipation on transfer from high to low light may cause large losses in carbon gain by crop canopies: a theoretical analysis. *Journal of experimental botany* 55(400), 1167-1175. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh141>

A.1 Teores de Elementos Mineraiis dos Solos

Legenda - Valores médios e erro padrão de elementos mineraiis constituintes do solo dos quatro campos experimentais. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada elemento mineral entre os quatro campos experimentais (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Campos | Zn | Mn | Cu | S | K | Fe | Ca | P |
|-----------|---------------------|---------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|------------|
| | mg.kg ⁻¹ | | | | % | | | |
| Biscaia | 31,4±2,2b | 154±9b | 30,2±1,7b | 49,7±2,5a | 1,34±0,02d | 2,27±0,15a | 0,22±0,02ab | 0,11±0,01b |
| Lagameças | 32,3±2,9b | 179±12b | 70,8±7,0a | 35,0±1,4b | 2,53±0,05c | 0,45±0,03b | 0,27±0,15a | 0,14±0,00b |
| Lau Novo | 21,6±1,4b | 134±5b | 42,3±2,0b | 16,9±0,7d | 3,20±0,05b | 0,26±0,01b | 0,16±0,01c | 0,19±0,02a |
| Lau Velho | 54,0±7,9a | 299±43a | 87,1±9,0a | 24,9±1,2c | 3,53±0,09a | 0,34±0,01b | 0,28±0,04a | 0,15±0,01b |

A.2 Adubação e Fitossanidade

2º ano de ensaio experimental

Registo de Aplicação de Produtos Fitofarmacêuticos

| Produto Fitofarmacêutico | | | | | |
|--------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------|----------|----------------------------|
| Nº | Data Aplicação | Finalidade | Nome Comercial | AV / APV | Intervalo Segurança (dias) |
| 1 | 16/02 a 2/03/2019 | Herbicida | MARQUI | 0061 | 28 |
| 2 | 4 a 11/03/2019 | Escoriose | QUADRIS AZ | 0012 | 21 |
| | 4 a 11/03/2019 | ativador de defesas natural | EUROFIT MAX | 3264 | - |
| 3 | 13 a 27/03/2019 | Escoriose | ZETYL COMBI AZ | 0759 | 42 |
| 4 | 4/04/2019 | Míldio | ZETYL COMBI AZ | 0759 | 42 |
| 5 | 5 a 12/04/2019 | Míldio | FORUM F | 0670 | 42 |
| 6 | 13/04/2019 | Míldio | RIDOMIL GOLD COMBI | 0531 | 42 |
| 7 | 15 a 22/04/2019 | Míldio | ZETYL COMBI AZ | 0759 | 42 |
| | 15 a 22/04/2019 | Oídio | KARATHANE LC | 4027 | 21 |
| 8 | 22 a 25/04/2019 | Míldio | FOLPAXIL | 3891 | 42 |
| | 23 a 25/04/2019 | Oídio | TOPAZE | 0625 | 14 |
| 9 | 4 a 6/05/2019 | Míldio | ZETYL COMBI AZ | 0759 | 42 |
| 10 | 6/05/2019 | Míldio | FOLPAXIL | 3891 | 42 |
| | 6/05/2019 | Oídio | TOPAZE | 0625 | 14 |
| 11 | 4 a 11/05/2019 | Oídio | TEBUTOP GOLD | 3773 | 14 |
| | 7 a 11/05/2019 | Míldio | MEVAXIL | 3707 | 42 |
| 12 | 13 a 31/05/2019 | Herbicida | MARQUI | 0061 | 28 |
| 13 | 20 a 21/05/2019 | Inseticida | EPIK SL | 0717 | 14 |
| 14 | 7 a 10/06/2019 | Míldio | VITIPPEC C WG | 4002 | 21 |
| | 7 a 10/06/2019 | Oídio | VIVANDO | 0198 | 28 |
| 15 | 18 a 22/06/2019 | Oídio | COLLIS | 0128 | 28 |
| | 18 a 22/06/2019 | traça / cigarrinha | DASKOR 440 | 0680 | 21 |
| | 18 a 22/06/2019 | traça / cigarrinha | METYL FOS | 1033 | 21 |
| | 18 a 22/06/2019 | Inseticida | EPIK SL | 0717 | 14 |
| 16 | 23 a 27/07/2019 | Cigarrinha | CARNADINE | 1175 | 7 |
| 17 | 8 a 13/08/2019 | Traça | AFFIRM | 4029 | 7 |

AV / APV = número de autorização de venda do produto fitofarmacêutico que consta no rótulo.

Registo de Aplicação de Fertilizantes

| Nº | Data Aplicação | Nome Comercial | Modo Aplicação |
|----|-----------------|-------------------|----------------|
| 1 | 2 a 6/01/2019 | MATÉRIA ORGÂNICA | Solo |
| | 2 a 6/01/2019 | LAMAS ETAR | Solo |
| 2 | 28 a 29/01/2019 | HUMIFERTAK 5-8-15 | Solo |
| 3 | 1 a 10/05/2019 | BOROTRAC | Foliar |
| | 1 a 10/05/2019 | MAGNTRAC | Foliar |
| | 1 a 10/05/2019 | AGRIPOTASHC | Foliar |
| 4 | 5 a 6/07/2019 | KRISTASOP | Foliar |
| | 5 a 6/07/2019 | KRISTA MGS | Foliar |
| 5 | 6/07/2019 | PLYAMINOL | Foliar |

Legenda - Informação relativa à aplicação de produtos fitofarmacêuticos e fertilizantes em todos os tratamentos, durante o ciclo de produção de uva nas castas Moscatel, Fernão Pires e Syrah nos campos Lau Novo, Lau Velho e Biscaia respetivamente.

Registo de Aplicação de Produtos Fitofarmacêuticos

Produto Fitofarmacêutico

| Nº | Data Aplicação | Finalidade | Nome Comercial | AV / APV | Intervalo Segurança (dias) |
|----|----------------|--------------------|----------------|----------|----------------------------|
| 1 | 29/03/2019 | míldio / escoriose | ALFIL DUPLO | 0332 | 28 |
| | 29/03/2019 | Oídio | COSAVET | 0901 | 7-10 |
| 2 | 12/04/2019 | Míldio | FORUM F | 0670 | 42 |
| | 12/04/2019 | Oídio | COSAVET | 0901 | 7-10 |
| 3 | 26/04/2019 | Míldio | FORUM F | 0670 | 42 |
| | 26/04/2019 | Oídio | COSAVET | 0901 | 7-10 |
| 4 | 10/05/2019 | Míldio | ARMETIL 50 | 3898 | 42 |
| | 10/05/2019 | Oídio | COSAVET | 0901 | 7-10 |
| 5 | 14/06/2019 | Oídio | COLLIS | 0128 | 28 |
| 6 | 28/06/2019 | traça / cicadela | LUZINDO | 4043 | 30 |
| | 28/06/2019 | Oídio | COLLIS | 0128 | 28 |

AV / APV = número de autorização de venda do produto fitofarmacêutico que consta no rótulo.

Legenda - Informação relativa à aplicação de produtos fitofarmacêuticos em todos os tratamentos, durante o ciclo de produção de uva na variedade Castelão no campo Lagameças.

3º ano de ensaio experimental

Registo de Aplicação de Produtos Fitofarmacêuticos

Produto Fitofarmacêutico

| Nº | Data Aplicação | Finalidade | Nome Comercial | AV / APV | Intervalo Segurança (dias) |
|----|--------------------|--------------|----------------|----------|----------------------------|
| 1 | 10 a 25/02/2020 | Herbicida | MARQUI | 0061 | 28 |
| | | Herbicida | GLIPHOGAN | 0163 | 28 |
| | | Herbicida | MINSK | 1044 | 75 |
| | | Herbicida | TAVAS | 1193 | - |
| 2 | 27/02 a 17/03/2020 | Míldio | ZETYL COMBI AZ | 0759 | 42 |
| | | Escoriose | MAESTRO F | 3374 | 42 |
| 3 | 5/03 a 11/04/2020 | Escoriose | MAESTRO F | 3374 | 42 |
| 4 | 24/03 a 4/04/2020 | Oídio | KARATHANE LC | 4027 | 21 |
| 5 | 24/03 a 11/04/2020 | Escoriose | MAESTRO F | 3374 | 42 |
| 6 | 7 a 21/04/2020 | Oídio | TOPAZE | 0625 | 14 |
| | | Oídio | KARATHANE LC | 4027 | 21 |
| 7 | 7 a 24/04/2020 | Escoriose | MAESTRO F | 3374 | 42 |
| | | Míldio | FOLPAXIL | 3891 | 42 |
| 8 | 18 a 24/04/2020 | Oídio | TOPAZE | 0625 | 14 |
| 9 | 13 a 30/04/2020 | Escoriose | MAESTRO F | 3374 | 42 |
| | | Míldio | FOLPAXIL | 3891 | 42 |
| | | Míldio | ZETYL COMBI WG | 0443 | 42 |
| 10 | 5 a 27/05/2020 | Herbicida | MARQUI | 0061 | 28 |
| 11 | 6 a 12/05/2020 | Míldio | ZETYL COMBI WG | 0443 | 42 |
| | | Míldio | VINOSTAR | 0509 | 42 |
| 12 | 7 e 8/05/2020 | piolho verde | ACTARA 25 WG | 0339 | 3 |
| 13 | 7 a 12/05/2020 | Oídio | TOPAZE | 0625 | 14 |
| 14 | 29/05 a 1/06/2020 | Míldio | SPYRIT F | 1212 | 42 |
| | | Oídio | VIVANDO | 0198 | 28 |
| 15 | 1 a 3/06/2020 | Míldio | SPYRIT F | 1212 | 42 |
| | | Oídio | VIVANDO | 0198 | 28 |
| 16 | 15 a 22/06/2020 | Míldio | CYMOZEB WG | 0944 | 30 |
| | | Oídio | COLLIS | 0128 | 28 |
| | | Traça | AFFIRM | 4029 | 7 |
| 17 | 19 e 20/06/2020 | Cigarrinha | CARNADINE | 1175 | 7 |
| 18 | 30/06 a 10/07/2020 | Cigarrinha | SIVANTO PRIME | 1443 | 14 |
| 19 | 1 e 2/07/2020 | Oídio | THIOVIT JET | 2905 | - |
| 20 | 6 a 11/08/2020 | Cigarrinha | DECIS | 0101 | 7 |
| | | Cigarrinha | SIVANTO PRIME | 1443 | 14 |
| | | Traça | AFFIRM | 4029 | 7 |

AV / APV = número de autorização de venda do produto fitofarmacêutico que consta no rótulo.

Registo de Aplicação de Fertilizantes

| Nº | Data Aplicação | Nome Comercial | Modo Aplicação |
|----|---------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1 | antes da rebentação | MATÉRIA ORGÂNICA LAMAS ETAR | Solo Solo |
| 2 | 6 e 7/02/2020 | HUMIFERTACK 5-8-15 | Solo |
| 3 | 8 a 21/04/2020 | BOROTRAC MAGTRAC AGRIPOTASHC | Foliar Foliar Foliar |
| 4 | 13/04/2020 | TERRACAN FERTICRISTAL CUF Ureia | Fertirrega Fertirrega Fertirrega |
| 5 | 22 a 30/04/2020 | BOROTRAC MAGTRAC | Foliar Foliar |
| 6 | 8/05/2020 | MATÉRIA ORGÂNICA – TERRACAN KRISTA K KRISTA MGS | Solo Foliar Foliar |
| 7 | 8/05 a 21/05/2020 | BOROTRAC MAGTRAC AGRIPOTASHC | Foliar Foliar Foliar |
| 8 | 1 a 3/06/2020 | BOROTRAC MAGTRAC AGRIPOTASHC | Foliar Foliar Foliar |
| 9 | 17/06/2020 | TERRACAN KRISTA K KRISTA MGS | Fertirrega Fertirrega Fertirrega |
| 10 | 15 a 22/06/2020 | AGRIPOTASHC | Foliar |

Legenda – Informação relativa à aplicação de produtos fitofarmacêuticos e fertilizantes ao longo do ciclo de produção de uva, em todos os tratamentos nas castas Moscatel, Fernão Pires e Syrah dos campos experimentais Lau Novo, Lau Velho e Biscaia respetivamente.

Registo de Aplicação de Produtos Fitofarmacêuticos

Produto Fitofarmacêutico

| Nº | Data Aplicação | Finalidade | Nome Comercial | AV / APV | Intervalo Segurança (dias) |
|----|----------------|--------------------|----------------|----------|----------------------------|
| 1 | 28/03/2020 | míldio / escoriose | ALFIL DUPLO | 0332 | 28 |
| | | oídio | COSAVET | 0901 | - |
| 2 | 11/04/2020 | míldio | ZETYL COMBI WG | 0443 | 42 |
| | | oídio | COSAVET | 0901 | - |
| 3 | 25/04/2020 | míldio | ZETYL COMBI WG | 0443 | 42 |
| | | oídio | COSAVET | 0901 | - |
| 4 | 07/05/2020 | míldio | ARMETIL 50 | 3898 | 42 |
| | | oídio | PENCOL | 3716 | 28 |
| 5 | 31/05/2020 | míldio | ARMETIL 50 | 3898 | 42 |
| | | oídio | COSAVET | 0901 | - |
| 6 | 14/06/2020 | oídio | COLLIS | 0128 | 28 |
| 7 | 07/08/2020 | traça / cicadela | BULLDOCK | 0108 | 14 |

AV / APV = número de autorização de venda do produto fitofarmacêutico que consta no rótulo.

Legenda – Informação relativa à aplicação de produtos fitofarmacêuticos ao longo do ciclo de produção de uva da variedade Castelão em todos os tratamentos do campo Lagameças.

A.3 Parâmetros colorimétricos

1º ano de ensaio experimental

Legenda– Médias (n = 3) ± erro padrão dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Syrah proveniente do Biscaia. As letras a - d indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamentos | L | a* | b* |
|--------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| 12 de julho- 2ª aplicação | | | |
| Controlo | 38,403±0,088a | 3,450 ±0,026cd | 14,130±0,075ab |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 37,393±1,000a | 3,947±0,052bc | 13,573±0,331b |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 39,290±0,177a | 4,643±0,182ab | 14,530±0,085ab |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 36,613±0,350a | 4,217±0,299ab | 13,613±0,222b |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 38,597±0,663a | 4,797±0,094a | 14,963±0,243a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 37,980±0,442a | 3,190±0,130d | 13,803±0,144ab |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 38,403±0,873a | 4,343±0,115ab | 14,557±0,440ab |
| 27 de julho- 3ª aplicação | | | |
| Controlo | 35,877±1,105a | 5,007±0,186a | 15,363±0,427a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 30,283±1,223ab | 3,470±0,198b | 13,513±0,453a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 34,280±1,238ab | 4,177±0,224ab | 14,753±0,522a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 29,187±1,515ab | 3,493±0,195b | 12,930±0,714a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 28,317±1,222b | 4,880±0,404a | 12,653±0,546a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 30,783±1,826ab | 3,590±0,129b | 13,867±0,797a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 33,013±1,662ab | 3,663±0,239b | 14,217±0,594a |
| 6 de outubro- Colheita | | | |
| Controlo | 12,037±0,124a | 0,417±0,020ab | -0,653±0,078a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 12,983±1,433a | -0,837±0,101abc | -1,433±0,480a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 16,193±1,137a | -0,287±0,188c | -1,370±0,614a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 15,847±1,320a | -0,457±0,129c | -1,283±0,495a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 15,250±3,275a | 0,503±0,313a | -1,070±0,548a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 15,133±2,058a | -0,383±0,143bc | -1,360±0,492a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 14,453±2,482a | -0,563±0,160c | -1,127±0,388a |

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Castelão proveniente do Lagameças e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a - e indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamentos | L | a* | b* |
|--------------------------------------------|----------------|---------------|----------------|
| 12 de julho- 2ª aplicação | | | |
| Controlo | 27,723±0,677d | 6,007±0,482b | 10,880±0,742b |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 35,537±0,564ab | 6,500±0,203ab | 13,943±0,269a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 33,500±1,592ab | 6,513±0,531ab | 12,630±0,684ab |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 36,070±0,723ab | 7,393±0,172ab | 14,497±0,409a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 37,430±0,343a | 6,267±0,091ab | 14,480±0,259a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 28,530±0,693cd | 6,083±0,173b | 11,613±0,354b |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 32,467±0,546bc | 7,573±0,092a | 13,100±0,228ab |
| 27 de julho- 3ª aplicação | | | |
| Controlo | 32,337±1,204ab | 5,763±0,446b | 13,233±0,628ab |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 32,017±0,716ab | 6,273±0,247b | 13,630±0,257a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 30,257±0,534bc | 5,687±0,052b | 11,837±0,293bc |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 20,600±0,532e | 6,923±0,334ab | 8,090±0,422d |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 28,100±0,477cd | 5,923±0,236b | 11,780±0,205bc |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 25,113±0,632d | 7,783±0,134a | 10,267±0,233c |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 33,950±0,225a | 6,540±0,124b | 14,130±0,108a |
| 24 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 19,693±1,826a | -0,317±0,093a | -0,677±0,145a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 17,603±4,214a | -0,647±0,067a | -1,223±0,815a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 23,460±1,741a | -0,443±0,147a | -1,977±0,569a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 19,127±1,468a | -0,537±0,130a | -1,173±0,377a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 20,563±0,637a | -0,197±0,276a | -1,740±0,325a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 16,777±1,239a | -0,637±0,052a | -1,030±0,508a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 15,927±1,555a | -0,460±0,118a | -0,510±0,153a |

Legenda– Médias (n = 3) e erro padrão dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Moscatel proveniente do Lau Novo e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a - c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamentos | L | a* | b* |
|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 12 de julho- 2ª aplicação | | | |
| Controlo | 30,097 ±2,144a | 6,217±0,443bc | 11,297 ±0,921a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 30,263 ±0,460a | 6,060±0,150c | 11,577 ±0,174a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 33,840 ±0,715a | 7,867±0,090ab | 13,637 ±0,285a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 35,373 ±2,767a | 6,743 ±0,761abc | 12,937 ±1,494a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 33,473 ±0,420a | 8,053 ±0,151a | 13,173 ±0,172a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 35,223 ±0,777a | 7,250 ±0,114abc | 13,923 ±0,383a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 34,237 ±0,486a | 6,620 ±0,280abc | 13,330 ±0,304a |
| 27 de julho-3ª aplicação | | | |
| Controlo | 25,907±2,211ab | 6,743 ±0,634a | 11,933 ±0,998a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 26,043±0,755ab | 6,280 ±0,345a | 11,693 ±0,273a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 26,570 ±1,237ab | 7,193 ±0,337a | 12,397 ±0,426a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 24,700 ±1,910b | 6,067 ±0,696a | 11,613 ±0,848a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 27,887±2,666ab | 6,287 ±0,390a | 13,317 ±1,094a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 34,287 ±1,207a | 7,757 ±0,174a | 15,457 ±0,600a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 26,310 ±2,627ab | 6,450 ±0,676a | 11,933 ±1,035a |
| 25 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 20,040 ±4,972a | -3,407 ±0,402ab | 3,157 ±0,196a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 25,650 ±5,255a | -1,247 ±0,799a | 5,037 ±0,574a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 32,860 ±1,505a | -3,663±0,621ab | 4,997 ±0,117a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 27,803 ±3,416a | -2,983 ±0,478ab | 5,007 ±0,742a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 27,407 ±3,564a | -3,840 ±0,301ab | 3,253 ±0,239a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 32,280 ±0,350a | -4,113 ±0,787b | 5,027 ±0,633a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 30,353 ±2,077a | -2,670 ±0,189ab | 3,090 ±0,372a |

Legenda– Médias (n = 3) e erro padrão dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Fernão Pires proveniente do Lau Velho e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a - e indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamentos | L | a* | b* |
|--------------------------------------------|------------------|-----------------|------------------|
| 12 de julho- 2ª aplicação | | | |
| Controlo | 27,457±0,851e | 6,100 ±0,289a | 10,133 ±0,432e |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 40,563±0,676a | 6,727±0,117a | 15,900 ±0,248a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 31,970±1,481cd | 6,447±0,290a | 12,073 ±0,576cd |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 29,930 ±0,555de | 6,760 ±0,143a | 11,537 ±0,159de |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 34,123±0,271bcd | 6,450 ±0,190a | 12,790 ±0,064bcd |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 36,030 ±1,107bc | 6,730 ±0,227a | 13,823 ±0,458bc |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 37,457 ±0,867ab | 7,040 ±0,189a | 14,147 ±0,379ab |
| 27 de julho- 3ª aplicação | | | |
| Controlo | 23,540 ±0,767bc | 4,533 ±0,170a | 11,543 ±0,431ab |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 27,017 ±1,303abc | 4,347 ±0,125a | 11,950 ±0,630ab |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 23,010 ±0,836c | 4,010 ±0,255a | 10,567 ±0,496b |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 27,070±1,370abc | 4,380 ±0,229a | 12,167±0,517ab |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 25,793 ±1,692bc | 4,223 ±0,414a | 11,987±0,678ab |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 30,050 ±2,445ab | 5,337 ±0,791a | 13,693±1,202ab |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 33,773 ±0,560a | 5,623 ±0,232a | 14,640±0,203a |
| 17 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 16,857 ±1,025b | -2,330 ±0,116a | 2,670 ±0,373a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 31,367 ±2,520a | -1,727 ±0,572a | 5,987 ±0,554a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 19,657 ±0,958ab | -2,847 ±0,083a | 4,033 ±0,178a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 24,923 ±2,892ab | -3,170 ±0,280a | 2,880 ±0,430a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 22,030 ±1,752ab | -2,693 ±0,124aa | 2,753 ±0,606a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 25,040 ±3,052ab | -2,490 ±0,918a | 4,837 ±0,830a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 28,647 ±4,997ab | -3,520 ±0,451a | 4,557 ±1,393a |

Legenda– Média da transmitância colorimétrica (n = 3) e erro padrão, na banda dos 450 – 650 nm, de frutos à colheita de *Vitis vinifera* L. castas Fernão Pires, Moscatel, Castelão e Syrah produzida no Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a - c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamentos | 450 nm | 500 nm | 550nm | 570 nm | 600 nm | 650 nm |
|--------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Casta Fernão Pires | | | | | | |
| Controlo | 616±9,539a | 523±5,207a | 886±10,408a | 465±3,930a | 546±4,163a | 902±6,692a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 491±106,171a | 390±100,832a | 679±141,566a | 362±71,667a | 458±68,411a | 783±96,173a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 556±12,991a | 467±9,644a | 808±19,296a | 415±2,728a | 498±8,293a | 843±8,570a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 451±71,143a | 362±61,203a | 672±42,780a | 344±28,844a | 382±29,501a | 702±69,628a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 568±44,281a | 466±47,427a | 767±115,106a | 405±52,214a | 470±62,389a | 840±42,451a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 576±42,360a | 482±36,295a | 868±37,257a | 459±24,009a | 517±30,072a | 873±42,509a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 530±62,602a | 423±58,814a | 721±36,195a | 377±28,696a | 437±29,077a | 779±54,810a |
| Casta Moscatel | | | | | | |
| Controlo | 591±29,588a | 523±27,088a | 972±22,003a | 479±22,855a | 543±17,910a | 869±22,003a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 555±2,082a | 459±9,244a | 817±46,937a | 422±10,105a | 543±2,603a | 900±25,007a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 600±22,519a | 513±16,895a | 896±38,718a | 464±11,590a | 554±9,713a | 905±25,576a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 618±7,000a | 533±9,292a | 928±38,438a | 483±12,979a | 569±11,015a | 924±1,856a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 624±24,173a | 552±24,835a | 990±39,627a | 499±27,883a | 574±28,095a | 902±23,695a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 588±19,633a | 521±21,674a | 956±44,905a | 481±23,247a | 554±15,044a | 886±8,327a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 600±24,759a | 510±24,583a | 890±47,477a | 455±21,481a | 554±14,769a | 891±9,644a |
| Casta Castelão | | | | | | |
| Controlo | 536±13,296a | 382±11,136a | 427±14,836a | 243±8,622a | 320±8,505ab | 762±9,387ab |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 545±11,150a | 389±16,010a | 443±45,740a | 250±18,415a | 323±21,851ab | 762±8,622ab |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 545±13,454a | 397±8,737a | 494±57,808a | 263±15,620a | 341±18,248ab | 766±7,810ab |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 506±29,667a | 358±37,445a | 393±108,667a | 229±43,547a | 293±52,717ab | 731±28,180b |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 581±12,979a | 437±13,296a | 569±27,025a | 308±13,544a | 396±11,590a | 809±5,239a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 543±1,528a | 390±8,963a | 440±16,954a | 251±11,015a | 327±9,905ab | 769±6,110ab |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 502±20,518a | 348±22,341a | 327±57,336a | 210±23,667a | 265±33,511b | 722±20,851b |
| Casta Syrah | | | | | | |
| Controlo | 520±17,362a | 374±19,221b | 427±70,534b | 243±21,733b | 326±31,018a | 760±17,638a |
| ZnO - 150 g.ha ⁻¹ | 555±19,186a | 427±16,169ab | 644±17,638a | 313±13,195a | 394±11,465a | 764±12,197a |
| ZnO - 450 g.ha ⁻¹ | 543±3,512a | 419±3,606ab | 634±8,622a | 307±2,028a | 391±1,202a | 770±7,839a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 555±2,963a | 426±2,848ab | 646±1,453a | 317±2,963a | 397±2,082a | 773±4,372a |
| ZnSO ₄ - 150 g.ha ⁻¹ | 535±3,215a | 409±3,512ab | 627±9,244a | 303±2,603ab | 391±2,963a | 766±6,506a |
| ZnSO ₄ - 450 g.ha ⁻¹ | 528±4,667a | 393±12,347ab | 560±65,506ab | 277±22,189ab | 360±24,044a | 755±5,686a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 564±7,513a | 430±5,686a | 633±17,243a | 315±4,041a | 400±1,764a | 778±7,550a |

2º ano de ensaio experimental

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Syrah proveniente do Biscaia e respetivo erro padrão (E.P.). A letra a indica a ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|------------|-----------|-----------|
| 24 de julho – 4ª Aplicação | | | |
| Controlo | 27,2±6,7a | -6,0±2,6a | 9,7±5,7a |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 26,1±5,0a | 0,5±0,2a | 1,5±2,8a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 21,5±0,6a | -2,3±0,7a | 4,2±0,9a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 18,5±2,9a | 0,5±0,3a | -1,0±1,6a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 24,5±6,9a | -1,4±1,6a | 5,7±4,3a |
| 09 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 18,3a±0,7a | 0,3±0,6a | -0,3±0,4a |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 21,0a±4,0a | 0,3±0,6a | 0,3±1,2a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 27,1a±1,8a | 0,1±0,2a | -2,3±0,1a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 19,8a±2,9a | -0,9±0,1a | -1,2±0,5a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 16,2a±2,4a | -1,0±0,3a | -0,6±0,3a |

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Castelão proveniente do Lagameças e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
| 24 de julho – 4ª Aplicação | | | |
| Controlo | 23,9±1,7a | 0,8±0,4a | -2,6±0,4a |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 26,3±3,6a | -5,7±2,5b | 7,3±5,1a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 23,7±1,7a | 0,0±0,5a | -3,0±0,5a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 22,4±2,8a | 1,4±0,3a | -0,9±0,3a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 20,2±1,1a | -0,4±0,3ab | -2,8±0,4a |
| 02 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 21,6±3,4a | -1,0±0,3a | -1,9±0,2a |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 15,2±1,4a | -2,2±0,8a | 3,1±3,3a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 16,7±1,1a | -1,4±0,4a | 0,2±0,6a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 18,8±4,4a | -1,0±0,4a | 0,0±2,1a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 16,9±2,9a | -1,3±0,2a | 0,0±1,8a |

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Moscatel proveniente do Lau Novo e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|------------|------------|------------|
| 24 de julho – 4ª Aplicação | | | |
| Controlo | 42,8a±1,8 | -9,3a±0,3 | 16,5a±2,9 |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 40,0a±1,6 | -8,6a±0,8 | 11,9a±1,2 |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 42,9a±4,3 | -9,3a±1,0 | 12,2a±2,1 |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 43,4a±2,7 | -10,6a±1,6 | 18,1a±2,2 |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 41,4a±2,9 | -8,1a±0,4 | 11,5a±1,2 |
| 09 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 38,6±0,8ab | -6,3±0,1ab | 8,8±0,5b |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 33,4±2,4b | -6,3±0,4ab | 10,4±0,7ab |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 39,1±0,4ab | -5,5±0,2a | 13,1±0,2a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 44,9±0,7a | -7,5±0,5b | 11,2±1,4ab |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 42,8±2,6a | -4,7±0,5a | 12,4±0,9ab |

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Fernão Pires proveniente do Lau Velho e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|------------|------------|-----------|
| 24 de julho– 4ª Aplicação | | | |
| Controlo | 39,3±2,9a | -7,8±1,0a | 10,8±0,4a |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 33,0±7,6a | -6,9±0,9a | 9,5±2,0a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 35,1±5,0a | -6,6±0,4a | 6,9±2,4a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 35,5±6,1aa | -6,9±0,7a | 10,0±0,8a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 41,7±4,7 | -7,9±0,4a | 9,7±2,2a |
| 02 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 30,6±5,7a | -2,8±0,2a | 8,7±1,1a |
| ZnO- 900 g.ha ⁻¹ | 31,9±1,7a | -4,1±0,3ab | 5,7±1,4a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 25,4±4,5a | -3,8±0,1ab | 7,7±1,7a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 34,2±2,9a | -4,2±0,5b | 8,5±2,6a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 33,0±4,4a | -3,5±0,1ab | 6,6±1,2a |

Legenda– Média da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, de frutos à colheita de *Vitis vinifera* L. castas Fernão Pires, Moscatel, Castelão e Syrah produzida no Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a - c indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamentos | 450 nm | 500 nm | 550 nm | 570 nm | 600 nm | 650 nm |
|---------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| Fernão Pires | | | | | | |
| 02 de setembro | | | | | | |
| Controlo | 532±5bc | 470±2c | 821±21c | 428±14b | 539±20a | 837±14ab |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 525±4c | 468±3c | 852±7bc | 419±7b | 530±10a | 809±9b |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 584±18ab | 528±17ab | 935±19a | 491±15a | 583±14a | 856±12ab |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 538±13bc | 478±12bc | 910±20ab | 439±16ab | 550±18a | 805±13b |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 596±12a | 537±12a | 956±10a | 494±7a | 593±4a | 867±12a |
| Moscatel | | | | | | |
| 09 de setembro | | | | | | |
| Controlo | 666±17a | 634±15a | 1096±23a | 594±10a | 699±11a | 1023±5a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 720±25a | 681±28a | 1086±41a | 585±36a | 680±30a | 1015±30a |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 645±26a | 622±21aa | 1137±35a | 611±21a | 726±27a | 1041±21a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 656±25a | 624±30 | 1146±37a | 602±38a | 718±22a | 1012±36a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 637±1a | 617±8a | 1109±33a | 598±13a | 717±17a | 1022±8a |
| Castelão | | | | | | |
| 02 de setembro | | | | | | |
| Controlo | 519±4a | 419±12a | 647±60a | 308±22a | 400±28a | 759±6a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 528±16a | 439±14a | 696±12a | 344±10a | 438±9a | 760±10a |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 521±20a | 416±25a | 630±15a | 301±31a | 390±38a | 752±13a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 493±0a | 408±0a | 662±1a | 324±0a | 419±1a | 735±1a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 516±11a | 428±9a | 660±14a | 332±6a | 427±4a | 753±14a |
| Syrah | | | | | | |
| 09 de setembro | | | | | | |
| Controlo | 574±7a | 487±5b | 719±1a | 362±2a | 475±3a | 867±5a |
| ZnO - 900 g.ha ⁻¹ | 583±13a | 499±10ab | 734±8a | 376±8a | 488±11a | 884±12a |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 616±11a | 527±9a | 721±12a | 382±2a | 497±13a | 897±10a |
| ZnSO ₄ - 900 g.ha ⁻¹ | 589±4a | 509±3ab | 723±11a | 378±0a | 485±5a | 889±4a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 574±15a | 494±11ab | 709±7a | 363±7a | 481±4a | 887±17a |

3º ano de ensaio experimental

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Syrah proveniente do Biscaia e respetivo erro padrão (E.P.). As letras a, b indicam diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
| 8 de julho – 2ª aplicação | | | |
| Controlo | 34,7±2,9a | -7,3±0,5ab | 16,0±2,5a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 39,3±1,9a | -9,5±1,0b | 17,8±1,9a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 29,9±3,7a | -5,7±0,3a | 12,0±1,2a |
| 14 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 19,3±4,8a | 1,2±1,1a | 1,8±0,6a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 25,8±2,8a | 1,9±1,3a | 3,8±3,1a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 23,3±3,7a | 0,5±1,1a | 1,3±1,8a |

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Castelão proveniente do Lagameças e respetivo erro padrão (E.P.). A letra a indica a ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
| 8 de julho – 2ª aplicação | | | |
| Controlo | 41,4±5,3a | -10,5±1,7a | 20,0±4,0a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 31,5±5,6a | -6,8±2,5a | 16,5±4,8a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 33,4±5,6a | -7,2±2,0a | 10,5±3,4a |
| 16 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 12,4±1,0a | -0,3±0,4a | 1,8±0,7a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 13,8±2,6a | -0,5±0,7a | 13,4±5,9a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 23,8±4,9a | -0,3±0,3a | -0,8±1,4a |

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Moscatel proveniente do Lau Novo e respetivo erro padrão (E.P.). A letra a indica a ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|-----------|------------|-----------|
| 8 de julho – 2ª Aplicação | | | |
| Controlo | 35,9±4,1a | -8,0±0,8a | 12,0±2,6a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 43,1±6,3a | -10,8±2,3a | 16,2±6,3a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 47,9±2,7a | -10,6±3,3a | 21,4±6,5a |
| 15 de setembro- Colheita | | | |
| Controlo | 23,1±4,8a | -4,3±0,4a | 8,7±1,4a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 15,9±2,4a | -4,9±0,6a | 11,9±5,0a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 29,1±3,8a | -4,1±0,3a | 6,0±0,7a |

Legenda– Médias (n = 3) dos parâmetros colorimétricos CIELab (L – Luminosidade / brilho, a* verde – vermelho e b* azul – amarelo), utilizando o iluminante D65 frutos de *Vitis vinifera* L. casta Fernão Pires proveniente do Lau Velho e respetivo erro padrão (E.P.). A letra a indica a ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamento | L | a* | b* |
|---------------------------------------------|------------|-----------|-----------|
| 8 de julho – 2ª Aplicação | | | |
| Controlo | 27,1±4,2a | -6,0±1,4a | 13,7±3,8a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 32,3±1,1a | -6,9±0,9a | 11,5±3,8a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 33,9±5,5a | -6,8±0,6a | 11,0±3,1a |
| 19 de agosto- Colheita | | | |
| Controlo | 37,5a±1,1a | -3,7±0,7a | 7,0±1,8a |
| ZnO- 1350 g.ha ⁻¹ | 38,8±1,0a | -3,9±0,3a | 10,8±1,8a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 35,8±3,7a | -4,3±0,5a | 8,1±3,6a |

Legenda– Média da transmitância colorimétrica (n = 3), na banda dos 450 – 650 nm, de frutos à colheita de *Vitis vinifera* L. castas Fernão Pires, Moscatel, Castelão e Syrah produzida no Lau Velho, Lau Novo, Lagameças e Biscaia e respetivo erro padrão (E.P.). A letra a indica a ausência de diferenças significativas de cada parâmetro entre os tratamentos de cada período temporal (análise estatística com recurso à aplicação de teste ANOVA de fator único, $P \leq 0,05$).

| Tratamentos | 450 nm | 500 nm | 550 nm | 570 nm | 600 nm | 650 nm |
|---------------------------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| Fernão Pires | | | | | | |
| 19 de Agosto | | | | | | |
| Controlo | 566±53a | 586±48a | 981±39a | 629±22a | 773±26a | 881±47a |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 638±19a | 634±25a | 996±23a | 634±22a | 778±14a | 915±22a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 652±13a | 640±9a | 996±15a | 632±10a | 773±10a | 906±5a |
| Moscatel | | | | | | |
| 15 de setembro | | | | | | |
| Controlo | 739±24a | 764±22a | 1146±11a | 753±11a | 880±13a | 1044±17a |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 683±24a | 716±19a | 1128±10a | 720±12a | 848±9a | 1004±19a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 707±47a | 728±48a | 1114±52a | 723±42a | 865±39a | 1025±37a |
| Castelão | | | | | | |
| 16 de setembro | | | | | | |
| Controlo | 680±27a | 630±26a | 828±34a | 535±20a | 665±19a | 909±25a |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 626±22a | 562±27a | 681±86a | 460±40a | 573±52a | 840±23a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 632±12a | 578±9a | 779±21a | 498±9a | 628±10a | 859±5a |
| Syrah | | | | | | |
| 14 de setembro | | | | | | |
| Controlo | 589±14a | 524±28a | 634±92a | 427±43a | 547±51a | 824±20a |
| ZnO - 1350 g.ha ⁻¹ | 612±7a | 574±9a | 795±22a | 501±11a | 634±11a | 861±8a |
| ZnSO ₄ - 1350 g.ha ⁻¹ | 613±9a | 570±11a | 794±23a | 496±14a | 632±13a | 848±10a |

A.4 Análise sensorial da uva

1º ano de ensaio experimental

| Características sensoriais | Uvas Fernão Pires | | |
|----------------------------|-------------------|-----|-----|
| | Códigos: | | |
| | 251 | 662 | 547 |
| Aparência | | | |
| Cor | | | |
| Aroma | | | |
| Textura | | | |
| Apreciação Global | | | |

Legenda- Exemplo da ficha de prova de avaliação sensorial de uva biofortificada. Escala: 1- Desgostei muito; 2- Desgostei; 3- Não gostei nem desgostei; 4-Gostei; 5- Gostei muito.

2º ano de ensaio experimental

AVALIAÇÃO SENSORIAL DE UVA biofortificado

PDR2020-1.0.1-FEADER-030729

Prova Triangular (ISO 4120) – deteção de diferenças

Objetivo: Detetar diferenças entre amostras por comparação triangular

Procedimento: Registe o código das amostras que são fornecidas, examine-as relativamente aos atributos olfato-gustativos (aparência, cheiro, sabor e aroma) e **assinale a amostra que avalia como diferente**. Se entender, pode identificar as diferenças como comentário.

Atributos olfato-gustativos _____

Comentários:

Legenda- Exemplo da ficha de prova do teste triangular de uva biofortificada no segundo ano de ensaio experimental.

A.5 Análise sensorial vinho

1º ano de ensaio experimental

| | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|-------|
| Número do vinho: _____ | | Data: _____ | | | | | |
| Aspeto visual: | | | | | | | |
| <u>Limpidez:</u> . . . | Límpido | <input type="checkbox"/> | Turvo | <input type="checkbox"/> | | | |
| <u>Tinto:</u> . . . | Violeta | <input type="checkbox"/> | Rubi | <input type="checkbox"/> | | | |
| <u>Branco:</u> . . . | | | | | | | |
| Amarelo-esverdeado | <input type="checkbox"/> | Amarelo-palha | <input type="checkbox"/> | Amarelo-ouro | <input type="checkbox"/> | | |
| Nariz: (de 0 a 5) | | Boca: (de 0 a 5) | | | | | |
| Vegetal | _____ | Fermento | _____ | Doce | _____ | Álcool | _____ |
| Mineral | _____ | Lácteo | _____ | Ácido | _____ | Volume | _____ |
| Floral | _____ | Madeira | _____ | Amargo | _____ | Taninos | _____ |
| Frutado | _____ | Balsâmico | _____ | | | | |
| Flores | _____ | | | Efeverscência | _____ | | |
| Secas | _____ | Frutos Secos | _____ | Untuosidade | _____ | | |
| Madeira | _____ | Especiarias | _____ | Persistencia | _____ | | |
| Animal | _____ | Terroso | _____ | | | | |
| Combinções: | | Avaliação final: | | | | | |

Legenda- Ficha técnica de análise sensorial hedonista de vinho biofortificado no primeiro ano de ensaio experimental.

3º ano de ensaio experimental

| Análise sensorial hedonista -castas tintas (Casta A) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Data: _____ | |
| Idade: _____ | Sexo (F/M): _____ |
| Coloque uma cruz (X) na opção que considera correta. | |
| Aspeto visual: | |
| Limpidez: Limpido <input type="checkbox"/> Turvo <input type="checkbox"/> | |
| Cor: Violeta <input type="checkbox"/> Rubi <input type="checkbox"/> | |
| Granada <input type="checkbox"/> | |
| Considerando uma escala de 0 a 5 (em que 0 é a ausência e 5 é o máximo) dê uma pontuação. | |
| Nariz | |
| Vegetal ___ Fermento ___ Frutado ___ Flores secas ___ | |
| Boca | |
| Doce ___ Ácido ___ Amargo ___ Álcool ___ Volume: ___ | |
| Taninos ___ Efervescência ___ Untuosidade ___ Persistência ___ | |
| <u>Avaliação final:</u> | |

| Análise sensorial hedonista -castas tintas (Casta B) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Data: _____ | |
| Idade: _____ | Sexo (F/M): _____ |
| Coloque uma cruz (X) na opção que considera correta. | |
| Aspeto visual: | |
| Limpidez: Limpido <input type="checkbox"/> Turvo <input type="checkbox"/> | |
| Cor: Violeta <input type="checkbox"/> Rubi <input type="checkbox"/> | |
| Granada <input type="checkbox"/> | |
| Considerando uma escala de 0 a 5 (em que 0 é a ausência e 5 é o máximo) dê uma pontuação. | |
| Nariz | |
| Vegetal ___ Fermento ___ Frutado ___ Flores secas ___ | |
| Boca | |
| Doce ___ Ácido ___ Amargo ___ Álcool ___ Volume: ___ | |
| Taninos ___ Efervescência ___ Untuosidade ___ Persistência ___ | |
| <u>Avaliação final:</u> | |

A

| Análise sensorial hedonista -castas brancas (Casta A) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Data: _____ | |
| Idade: _____ | Sexo (F/M): _____ |
| Coloque uma cruz (X) na opção que considera correta. | |
| Aspeto visual: | |
| Limpidez: Limpido <input type="checkbox"/> Turvo <input type="checkbox"/> | |
| Cor: Amarelo-esverdeado <input type="checkbox"/> Amarelo-palha <input type="checkbox"/> | |
| Amarelo-ouro <input type="checkbox"/> | |
| Considerando uma escala de 0 a 5 (em que 0 é a ausência e 5 é o máximo) dê uma pontuação. | |
| Nariz | |
| Vegetal ___ Fermento ___ Frutado ___ Flores secas ___ | |
| Boca | |
| Doce ___ Ácido ___ Amargo ___ Álcool ___ Volume: ___ | |
| Taninos ___ Efervescência ___ Untuosidade ___ Persistência ___ | |
| <u>Avaliação final:</u> | |

| Análise sensorial hedonista -castas brancas (Casta B) | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Data: _____ | |
| Idade: _____ | Sexo (F/M): _____ |
| Coloque uma cruz (X) na opção que considera correta. | |
| Aspeto visual: | |
| Limpidez: Limpido <input type="checkbox"/> Turvo <input type="checkbox"/> | |
| Cor: Amarelo-esverdeado <input type="checkbox"/> Amarelo-palha <input type="checkbox"/> | |
| Amarelo-ouro <input type="checkbox"/> | |
| Considerando uma escala de 0 a 5 (em que 0 é a ausência e 5 é o máximo) dê uma pontuação. | |
| Nariz | |
| Vegetal ___ Fermento ___ Frutado ___ Flores secas ___ | |
| Boca | |
| Doce ___ Ácido ___ Amargo ___ Álcool ___ Volume: ___ | |
| Taninos ___ Efervescência ___ Untuosidade ___ Persistência ___ | |
| <u>Avaliação final:</u> | |

B

Legenda- Ficha técnica de análise sensorial hedonista que envolveu um painel de provadores. (A) Ficha da prova dos vinhos brancos; (B) Ficha da prova dos vinhos tinto



2025

DIANA FREIRE DACCAK

BIOFORTIFICAÇÃO EM ZINCO APLICADA AO SETOR VITIVINÍCOLA

