

**Efeito da aplicação de extratos de algas e aminoácidos em
caldas foliares, isoladamente e como suplemento de
fertilização NPK, na composição mineral de folhas e frutos de
aveleira**

Soraia de Lurdes Fernandes Raimundo

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Grau de
Mestre em Agroecologia

Orientada por

Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues

Professor Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues

Bragança

2021

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores Professor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues e Professora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues por todo o conhecimento transmitido, pela paciência, incentivo, disponibilidade e, acima de tudo, pelo apoio à conclusão desta dissertação.

Às técnicas e técnicos dos laboratórios de Solos, Zootecnia e UNIQA, Rita Diz, Ana Pinto e David Carvalho, por todo apoio prestado.

Agradeço também a Adília Alves e Cidália Freitas, do gabinete de apoio técnico no CIMO, por todo o carinho que me têm tratado.

Às minhas colegas Sandra Afonso, Susana Capitão e Ângela Monteiro pela amizade, conselhos e apoio ao longo desta fase.

Agradeço aos amigos que estiveram comigo durante a trajetória universitária. Em especial a Stephany Rezende, Catarina Gomes, Santamaria-Echart, Hélder Rafael, Arantzazu e Samara Silva.

E, sobretudo, à minha família, aos meus queridos pais, irmã, avó e primos Gonçalo, Inês e João que sem eles não tinha sido possível. E a ti, Armando Taveira, pelo apoio incondicional.

A todos os demais que indiretamente deram o seu contributo para a concretização deste trabalho.

O meu muito obrigado

Resumo

A avelleira (*Corylus avellana* L.) é uma importante espécie cultivada da família Betulaceae. Cultiva-se maioritariamente nas regiões temperadas do hemisfério norte, perto de grandes massas de água em latitudes médias. A Turquia é o maior produtor mundial, seguida de Itália e Estados Unidos da América. Portugal tem uma produção de avelã relativamente baixa. A otimização da fertilização é um aspeto importante da técnica cultural, uma vez que a disponibilidade de nutrientes influencia diretamente o crescimento das árvores e a produção de fruto. Atendendo a que no presente se procura reduzir o uso de fertilizantes convencionais, devido a alguns impactes negativos no meio ambiente, é importante avaliar estratégias de fertilização complementares, como por exemplo o uso de produtos com ação bioestimulante sobre as plantas. Neste trabalho foram utilizados dois tipos de bioestimulantes, um baseado em extratos de algas marinhas e outro em aminoácidos livres. Os produtos foram aplicados isoladamente e em complemento a adubação ao solo. Assim, foram estabelecidos seis tratamentos [fertilização NPK (NPK), NPK mais extrato de fitoalgas (Fitoalgas Green®) (NPK+FA), FA, NPK mais aminoácidos (Sprint Plus®) (NPK+SP), SP e Testemunha, não fertilizada], organizados num delineamento completamente casualizado com três repetições e três árvores por repetição. O ensaio foi instalado em Travanca, concelho de Macedo de Cavaleiros, em Trás-os-Montes num pomar de avelleiras da cultivar Ennis. Foi avaliado o efeito dos tratamentos no estado nutricional das árvores, a partir de cinco amostragem de folhas efetuadas durante dois anos, na composição mineral dos frutos e nas propriedades do solo. A modalidade testemunha mostrou concentrações de azoto nos tecidos mais baixas que as modalidades que receberam NPK devido ao fornecimento direto do nutriente. O extrato de algas marinhas manteve níveis elevados de azoto nas folhas, talvez por ter estimulado a eficiência de uso do nutriente a partir do solo. Os valores de potássio nas folhas também se revelaram tendencialmente mais elevados nos tratamentos com NPK. As concentrações de azoto e potássio nas folhas decresceram de forma marcada com a estação de crescimento, devido a efeitos de diluição com a expansão da parte aérea e a concentração dos elementos nos frutos. As propriedades do solo também variaram pouco entre tratamentos, embora o pH tenha decrescido nos tratamentos fertilizados com NPK, talvez devido à nitrificação da fração amoniacal do fertilizante.

Palavras-chave: *Corylus avellana* L.; Bioestimulantes; fertilização NPK; estado nutricional; composição elementar de tecidos.

Abstract

Hazel (*Corylus avellana* L.) is an important cultivated species of the Betulaceae family. It is mostly cultivated in temperate regions of the northern hemisphere, close to large bodies of water in mid-latitudes. Turkey is the largest producer in the world, followed by Italy and the United States of America. Portugal has a relatively low hazelnut production. Optimizing fertilization is an important aspect of the cropping technique, as the availability of nutrients directly influences tree growth and fruit production. Given that currently there is an international focus on reducing the use of conventional fertilizers, due to some negative impacts on the environment, it is important to evaluate complementary fertilization strategies, such as the use of products with a biostimulant action on plants. In this work two types of plant biostimulants were used, one based on seaweed extracts and the other on free amino acids. The products were applied separately and in addition to soil NPK fertilization. Thus, six treatments were established [NPK fertilization, NPK; NPK plus phytoalgae extract (Fitoalgas Green®), NPK+FA; FA; NPK plus amino acids (Sprint Plus®), NPK+SP; SP; and a non-fertilized Control], arranged in a completely randomized design with three replicates and three trees per replicate. The trial was installed in Travanca, municipality of Macedo de Cavaleiros, in Trás-os-Montes, in an orchard of hazelnut trees of the Ennis cultivar. The effect of the treatments was evaluated based on the nutritional status of the trees (from five sampling of leaves carried out over two years), on the mineral composition of the fruits and on the properties of the soil. The control treatment showed lower tissue nitrogen concentrations than the treatments that received NPK due to the direct supply of the nutrient. The seaweed extract maintained high levels of nitrogen in the leaves, perhaps because it improved the efficiency of using the nutrient from the soil. Potassium values in leaves also tend to be higher in NPK treatments. The concentrations of nitrogen and potassium in the leaves decreased markedly during the growing season, due to dilution effects with the expansion of the canopy and the concentration of elements in the fruits. Soil properties also varied little between treatments, although pH decreased in treatments fertilized with NPK, perhaps due to nitrification of the ammoniacal fraction of the fertilizer.

Keywords: *Corylus avellana* L.; plant biostimulants; NPK fertilization; tissue elemental composition; crop nutritional status

Índice

1 – Introdução.....	12
2 – Revisão bibliográfica.....	13
2.2 – Azeiteira.....	13
2.1.1 – Origem, história e distribuição geográfica.....	13
2.1.2 - Características botânicas e agronómicas.....	13
2.1.3 - Adaptação edafoclimática.....	17
2.1.4 – Propriedades nutricionais do fruto.....	18
2.1.5 – Importância e valor económico.....	19
2.1.6 – Fertilização da cultura.....	23
2.2– Agricultura sustentável.....	25
2.2.1 – Qualidade do solo.....	26
2.2.2 – Fertilidade do solo.....	27
2.2.3 – Matéria orgânica.....	28
2.3 – Fertilizantes.....	29
2.3.1 - Nutrientes.....	31
2.3.2 - Adubos minerais.....	32
2.4 – Bioestimulantes das plantas.....	34
2.4.1 - Ácidos húmicos e fúlvicos.....	35
2.4.2 - Proteínas hidrolisadas e aminoácidos.....	36
2.4.3 – Extratos de algas marinhas.....	37
2.4.4 – Microrganismos benéficos.....	37
2.4.5 - Quitosana e outros biopolímeros.....	38
3 – Materiais e métodos.....	38
3.1 – Caracterização do local e delineamento experimental.....	38
3.2 – Colheita de amostras.....	41
3.2.1 – Colheita e processamento das amostras de folhas.....	41

3.2.2 – Colheita e processamento das amostras de solo	41
3.2.3 – Colheita de amostras de frutos	41
3.3 – Determinações laboratoriais	42
3.3.1 – Análises de solos	42
3.3.1.1 – Determinação da matéria orgânica	42
3.3.1.2 – Determinação do pH.....	42
3.3.1.3 – Determinação de capacidade de troca catiónica	42
3.3.1.4 – Determinação da acidez de troca	43
3.3.1.5 – Determinação do fósforo e potássio extraíveis.....	43
3.3.1.6 – Determinação de cobre, ferro, zinco e manganês	43
3.3.1.7 – Determinação de boro.....	43
3.3.2 - Análises de tecidos vegetais.....	44
3.3.2.1 – Determinação de azoto	44
3.3.2.2 – Determinação de boro.....	44
3.3.2.3 – Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês	44
3.3.3 - Análise dos dados.....	45
4 – Resultados.....	45
4.1 – Concentração de nutrientes nas folhas	45
4.2 – Concentração de nutrientes no fruto	55
4.2.1 – Concentração de nutrientes na casca	55
4.2.2 – Concentração de nutrientes no miolo	58
4.3 – Propriedades do solo	60
5 – Discussão	63
6 – Conclusões.....	66
7 – Referências	66

Índice de Figuras

Figura 1. Imagens da floração da aveleira, com aspeto da árvore em floração (esquerda) e das flores femininas e masculinas (direita).....	15
Figura 2. Aspeto do fruto da aveleira em diferentes fases de maturação.	15
Figura 3. Aspeto visual da folha de aveleira.	16
Figura 4. Aspeto do sistema reprodutor da Aveleira (extraído de wikipedia).....	16
Figura 5. Aspeto da avelã com separação da casca e do miolo.	18
Figura 6. Produção média mundial de avelã com casca nos últimos 20 anos em várias regiões do globo (FAOSTAT, 2020).....	20
Figura 7. Principais produtores de avelã a nível mundial em 2020 (FAOSTAT, 2020). 20	
Figura 8. Principais países importadores de miolo de avelã e avelã com casca a nível mundial, entre 2000 e 2020 (FAOSTAT, 2020).....	21
Figura 9. Principais países exportadores de avelã com casca e miolo a nível mundial em 2020 (FAOSTAT, 2020).	22
Figura 10. Área de cultivo da aveleira e produção de avelã em Portugal, entre 1980 e 2018 (FAOSTAT, 2020).	22
Figura 11. Valor pago aos produtores de avelã com casca em Portugal nos anos de 2000 a 2018 (FAOSTAT, 2020).....	23
Figura 12. Consumo de adubos elementares azotados, fosfatados e potássicos nos últimos anos (2002 a 2018), no Mundo, na Europa e em Portugal (FAOSTAT, 2020).....	34
Figura 13. Localização de Macedo de Cavaleiros (a vermelho) no mapa de Portugal e suas freguesias (Artur, 2005).....	39
Figura 14. Pomar onde foi instalado o ensaio.	39
Figura 15. Concentração de azoto nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para * $\alpha < 0,05$, ** $\alpha < 0,01$ e *** $\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.	46

Figura 16. Concentração de fósforo nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias..... 47

Figura 17. Concentração de potássio nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias. 48

Figura 18. Concentração de cálcio nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.49

Figura 19. Concentração de magnésio nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.50

Figura 20. Concentração de boro nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias..... 51

Figura 21. Concentração de ferro nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK

suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias..... 52

Figura 22. Concentração de manganês nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias..... 53

Figura 23. Concentração de zinco nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias..... 54

Figura 24. Concentração de cobre nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias..... 55

Índice de Quadros

Quadro 1. Classificação botânica de <i>Corylus avellana</i>	14
Quadro 2. Macronutrientes constituintes do miolo de avelã (Buthelezi et al., 2019). ...	19
Quadro 3. Lípidos presentes no miolo de avelã (Buthelezi et al., 2019).....	19
Quadro 4. Doses de referência para a cultura da aveleira (Silva et al., 2005).....	24
Quadro 5. Classificação do teor de matéria orgânica em função da textura do solo (Santos 2015).....	28
Quadro 6. Teores de carbono (C) orgânico, pH(H ₂ O), pH(KCl), fósforo (P ₂ O ₅), potássio (K ₂ O), boro, bases do complexo de troca e capacidade de troca catiónica (CTC) na amostragem inicial do solo efetuada a 0,20 m de profundidade.	40
Quadro 7. Concentração de macronutrientes na casca de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). Nas colheitas de 2019 e 2020.....	56
Quadro 8. Concentração de micronutrientes na casca de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). nas colheitas de 2019 e 2020.....	57
Quadro 9. Concentração de macronutrientes no miolo de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). nas colheitas de 2019 e 2020.....	59
Quadro 10. Concentração de micronutrientes no miolo de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). nas colheitas de 2019 e 2020.....	60
Quadro 11. Teores de carbono (C) orgânico, pH(H ₂ O), pH (KCl) e fósforo (P ₂ O ₅) e potássio (K ₂ O) extraíveis em amostras de solo colhidas em 2020 na camada 0,0-0,2 m em função dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio;	

NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). 61

Quadro 12. Bases do complexo de troca e capacidade de troca catiónica (CTC) em amostras de solo colhidas em 2020 na camada 0,0-0,2 m em função dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). 62

Quadro 13. Concentração de micronutrientes em amostras de solo colhidas em 2020 na camada 0,0-0,2 m em função dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). 62

1 – Introdução

A aveleira (*Corylus avellana* L.) é uma espécie da família Betulaceae cultivada pelo valor do seu fruto. Atualmente é cultivada em várias regiões do mundo, sobretudo naquelas que beneficiam de um clima temperado, devido às necessidades em frio. A Turquia é atualmente o maior produtor mundial de avelã. Em Portugal a cultura tem pouca expressão, mas o interesse nesta espécie tem aumentado nos anos recentes. O interesse dos produtores na cultura torna necessário otimizar os processos de cultivo, de forma a que ela possa ser competitiva com as demais culturas. A fertilização é um, entre muitos outros aspetos, sobre os quais é necessário aumentar a informação, devido aos custos que acarreta, mas também aos efeitos que pode ter na produtividade.

Neste estudo ensaiaram-se várias modalidades de fertilização que incluíram fertilização convencional NPK e a aplicação de produtos comerciais com ação bioestimulante nas plantas, como extratos de algas marinhas e aminoácidos livres.

A tese está organizada em cinco capítulos principais, sendo um dedicado à revisão da literatura sobre a espécie, a gestão da fertilização e os fertilizantes utilizados. Num outro capítulo apresentam-se as condições experimentais e as metodologias de campo e laboratoriais utilizadas. Seguem-se os resultados, a sua discussão e, por fim, as conclusões. A tese termina com a lista de referências utilizadas.

Como objetivo geral estabeleceu-se avaliar os efeitos da aplicação de produtos comerciais à base de extrato de algas e de aminoácidos aplicados em caldas foliares, isoladamente e em suplemento a fertilização NPK, na composição mineral de folhas e frutos de aveleira.

Como objetivos específicos pretendeu-se: monitorizar o estado nutricional das árvores, através de análises regulares à composição elementar das folhas durante a estação de crescimento; avaliar a composição mineral dos frutos em amostras tomadas na colheita; e determinar algumas propriedades relevantes do solo com influência na ciclagem de nutrientes.

2 – Revisão bibliográfica

2.2 – Avelleira

2.1.1 – Origem, história e distribuição geográfica

A avelleira (*Corylus avellana* L.) tem como origem a Europa Oriental e a Ásia Ocidental, onde o seu cultivo remete para as margens do Mar Negro. Posteriormente estendeu-se para a Crimeia, Chipre, Grécia e Sicília (Agustí, 2010). Alguns estudos mostram a presença desta espécie também na Europa do Norte, sendo uma das espécies dominantes da vegetação lenhosa nas Ilhas Britânicas e Escandinávia, existindo também evidências do seu cultivo na Europa Central (Olsen et al., 2013).

O início da comercialização dos seus frutos fez com que esta espécie ganhasse interesse agronómico. A Turquia terá sido o primeiro país a comercializar avelãs, há cerca de 2000 a 5000 anos atrás. Durante esse período, foi introduzida na Europa Mediterrânica, nomeadamente na Grécia, Itália e Espanha, onde é cultivada desde então. A China também tem grande tradição no cultivo desta espécie, apesar da ocupação não ser muito expressiva, sendo considerado um alimento sagrado para a cultura chinesa (Olsen et al., 2013). No fim do século XIX foi introduzida na costa oeste dos Estados Unidos, ganhando rapidamente espaço a nível agronómico, sendo hoje uma espécie frutícola importante no estado de Oregon (Agustí, 2010; Olsen et al., 2013).

Atualmente a avelleira é cultivada um pouco por todo o mundo, mas prevalecendo essencialmente nas regiões temperadas do hemisfério norte, perto de grandes massas de água em latitudes médias, podendo ser encontrada no Japão, Coreia, China, Índia, Irão, Turquia, países do Cáucaso, Europa e América do Norte (Agustí, 2010).

2.1.2 - Características botânicas e agronómicas

A avelleira pertence à ordem Fagales, família Betulaceae, subfamília Coryloideae e género *Corylus* (Quadro 1). É uma árvore que pode ter o aspeto de um arbusto monoico, de folhagem caduca, copa pouco densa, com 4 a 8 m de altura e ramos flexíveis (Agustí, 2010; Olsen et al., 2013).

O nome do género *Corylus* vem da palavra grega ‘kory’ (capacete ou capuz), já avelã é derivada da palavra anglo-saxónica ‘haesel’ (capota) (Olsen et al., 2013).

Quadro 1. Classificação botânica da aveleira.

Reino	Plantae
Classe	Magnoliopsida
Subdivisão	Angiospérmica
Divisão	Espermatophyta
Ordem	Fagales
Família	Betulacea
Tribo	Coríleas
Género	<i>Corylus</i>
Espécie	<i>Corylus avellana</i> L.
Nome comum	Aveleira

Trata-se de uma espécie monoica, ou seja, apresenta flores masculinas e femininas na mesma planta. As flores masculinas dispõem-se em amentilhos, de 3 a 9 cm de comprimento e cor verde-claro a amarelo, surgindo em grupos de 2 a 5 em gomos do ano (Agustí, 2010). Cada flor masculina, actinomorfa e nua, tem uma escama trilobada em cuja face interna se inserem 4 a 8 estames de filamentos bífidios. As escamas trilobadas apresentam cor verde-clara e extremidade acuminada. As flores femininas agrupam-se em dicásios escamosos, nos gomos laterais ou na base do pedúnculo que tem os amentilhos masculinos, com 1 a 5 flores. Estas flores têm perianto reduzido, ovário ínfero e dois estigmas vermelhos como se pode observar na figura 1 (Gamalier, 2004; Blanca et al., 2009).

A polinização ocorre durante o inverno com baixas temperaturas e chuva. O pistilo pode estar recetivo durante várias semanas e, depois da polinização, o tubo polínico cresce até à base do estigma e entra num período de suspensão por 4 a 5 meses, após o qual retoma o crescimento e fertiliza os óvulos (Agustí, 2010).



Figura 1. Imagens da floração da aveleira, com aspecto da árvore em floração (esquerda) e das flores femininas e masculinas (direita).

O fruto é um aquênio, globoso, de cor acastanhado, com invólucro papiráceo, verde-claro inicialmente e acastanhado no final (figura 2). O pericarpo do fruto é lenhoso e duro e envolve, normalmente, uma só semente (Agustí, 2010). As aveleiras produzem frutos a partir do terceiro ano de plantação e a plena produção ocorre entre os oitavo e décimo anos após plantação.



Figura 2. Aspecto do fruto da aveleira em diferentes fases de maturação.

As folhas da aveleira têm 5 a 10 cm de comprimento, apresentam a margem duplamente serrilhada, pubescentes enquanto jovens em ambas as faces e posteriormente nas nervuras, com pecíolos curtos, superfície rugosa e dispostas alternadamente (Figura 3).



Figura 3. Aspeto visual da folha de aveleira.

As raízes são pouco profundas, estando na sua maioria nos primeiros 0,6 m, e contendo nódulos que emitem rebentos basais. Apesar da maioria das raízes estar a reduzida profundidade, o sistema radicular pode atingir mais de 1,8 a 3,0 m (Olsen et al., 2013).

A aveleira entra em repouso vegetativo, geralmente em setembro, com uma duração de quatro meses. Após a quebra de dormência, que depende das necessidades em frio de cada variedade, os gomos começam a desenvolver-se, dando início à floração, que ocorre gradualmente em cada árvore (os amentilhos e os glomérulos não se encontram todos em floração ao mesmo tempo). Caso as inflorescências masculinas apareçam primeiro do que as femininas, a variedade diz-se protândrica; quando a floração feminina é mais temporã do que a masculina, as variedades designam-se protogínicas; e, no caso em que a quebra da dormência ocorre em simultâneo para amentilhos e glomérulos, havendo coincidência na floração, a variedade é homogâmica (Wanjiku & Bohne, 2016). Na figura 4 apresenta-se uma imagem da floração da aveleira.



Figura 4. Aspeto do sistema reprodutor da Aveleira (extraído de wikipedia).

A aveleira é uma espécie auto-incompatível, o que significa que o pólen de uma variedade não fertilizará as flores femininas da mesma variedade. Também existe a possibilidade de serem incompatíveis de forma cruzada (entre si), o que significa que o pólen de uma variedade é ineficaz na fecundação das flores da outra variedade. Assim, devem ser plantadas árvores de variedades polinizadoras compatíveis com a variedade principal para assegurar uma boa produção (Agustí, 2010).

As diferentes variedades podem ser classificadas de acordo com a utilização do seu fruto em avelã de mesa, indústria ou dupla aptidão. Para além disso, distinguem-se pelo tamanho, forma, aspeto do miolo e da casca e rendimento.

A aveleira pode ser propagada por via seminal (reprodução sexuada) e vegetativa (reprodução assexuada), sendo que a reprodução sexuada na aveleira só tem interesse do ponto de vista do melhoramento genético. A propagação vegetativa permite obter plantas geneticamente iguais à planta mãe, sendo que o método utilizado tradicionalmente é a mergulhia (Agustí, 2010). A técnica consiste em colocar um ramo numa vala com 20 a 25 cm e cobrir com solo, deixando 2 a 3 gomos à superfície.

2.1.3 - Adaptação edafoclimática

A aveleira é uma árvore de regiões com clima temperado, perto de grandes massas de água em latitudes médias.

Genericamente, as temperaturas médias anuais ideais para o seu desenvolvimento rondam os 23-27 °C durante o dia e 16-18 °C durante a noite no verão, e temperaturas mínimas durante o inverno não inferiores a -8 °C. As flores masculinas resistem a temperaturas até -7 °C e as femininas até -13 °C, mas as folhas jovens são muito suscetíveis a geadas no momento da rebentação (Agustí, 2010).

As variedades possuem diferentes graus de resistência ao frio, sendo que na generalidade é uma fruteira relativamente resistentes às geadas, necessitando de 700 a 1200 horas de frio (abaixo de 7 °C). O número de horas de frio varia para as flores masculinas (100 e 800 horas) e femininas (250 e 1500 horas) dependendo da variedade (Agustí, 2010).

Humidade elevada é favorável ao desenvolvimento da cultura, necessitando de uma precipitação mínima anual de 700 mm (Agustí, 2010).

O vento suave na época de floração favorece a polinização. No entanto, as plantas não devem estar expostas a ventos excessivos, que perturbem a fecundação. Ventos fortes

promovem transpiração excessiva, provocando stress na planta, promovendo fenómenos desfavoráveis para a produção como a queda de frutos antes da maturação. A aveleira é uma espécie pouco tolerante à secura (Agustí, 2010).

Relativamente ao solo, a aveleira adapta-se a quase todos os tipos, com exceção dos que não tenham capacidade de retenção de água ou que estejam muito compactados (Agustí, 2010). Assim, esta cultura não deve ser instalada em solos mal drenados, pouco profundos, excessivamente argilosos ou arenosos, nem em solos calcários. As árvores podem desenvolver-se bem neste tipo de solos nos primeiros 8 a 10 anos, mas depois são pouco produtivas, já que o sistema radicular fica pouco desenvolvido (Gamalier, 2004).

Segundo Agustí (2010) as condições ótimas de crescimento atingem-se em solos profundos, de textura franca a franco-argilosa, com um subsolo permeável e pH entre 6 a 8. No entanto, adapta-se ainda bem a pH entre 5,5 e 6,2 (Gamalier, 2004). É sensível à salinidade, tanto do solo como da água (Agustí, 2010).

2.1.4 – Propriedades nutricionais do fruto

A avelã é um fruto pequeno, redondo, com casca castanha e miolo branco/amarelado (Figura 5). O miolo pode ser consumido cru ou tostado, sendo também muito utilizado na indústria chocolateira.



Figura 5. Aspeto da avelã com separação da casca e do miolo.

A avelã pertence ao grupo dos frutos secos, caracterizada botanicamente como sendo um fruto indeiscente, com pericarpo (casca) duro e seco que geralmente contém apenas uma semente que endurece ao longo da maturação (Buthelezi et al., 2019). Pertencem a este grupo também a amêndoa, a noz, o pistacho, o pinhão, a castanha e a alfarroba.

É característica deste grupo de frutos apresentarem baixo teor em água e alto teor em nutrientes, fibras e gorduras não saturadas (Buthelezi et al., 2019). O miolo da avelã possui ainda um alto teor de proteínas e é fonte de vitaminas e minerais, como vitamina E, manganês, magnésio e cobre. Tem na sua composição em quantidades mais reduzidas vitamina B6, fósforo, potássio e zinco. Possui também gorduras saudáveis, como um alto teor de ácidos gordos ómega-6 e ómega-9, sendo considerado um fruto com propriedades antioxidantes, rico em compostos fenólicos. A composição em macronutrientes no miolo da avelã é apresentada no quadro 2 e o teor em lípidos no quadro 3.

Quadro 2. Macronutrientes constituintes do miolo de avelã (Buthelezi et al., 2019).

Composição	Por 100 g de Miolo
Energia, kcal	677
Água	4,5
Lípidos	66,3
Proteínas	14
Glúcidos	15,2
Fibra	6,1

Quadro 3. Lípidos presentes no miolo de avelã (Buthelezi et al., 2019).

Lípidos	Por 100 g de Miolo
Ácidos gordos saturados	4,9
Ácidos gordos monoinsaturados	52,2
Ácidos gordos polinsaturados	6,2
Ácido linoleico	6,1

Devido à sua composição, o consumo de avelã, traz benefícios para a saúde, podendo ser um complemento saudável na alimentação.

2.1.5 – Importância e valor económico

A aveleira é cultivada um pouco por todo o mundo, sendo que os maiores produtores são Turquia, Itália, Estados Unidos da América, Azerbaijão, Geórgia, China, Espanha, Irão, França e Sérvia (Figura 6).

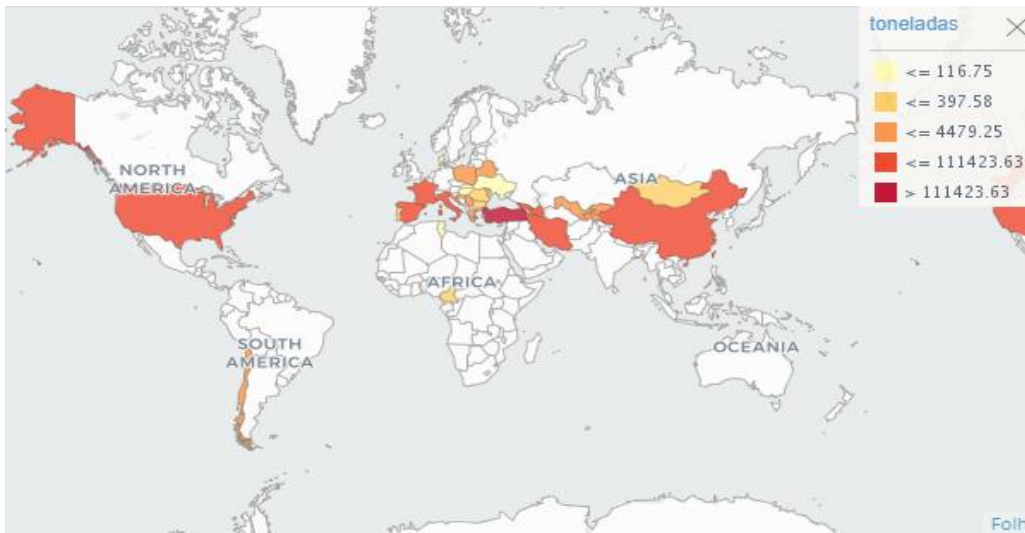


Figura 6. Produção média mundial de avelã com casca nos últimos 20 anos em várias regiões do globo (FAOSTAT, 2020).

Turquia é responsável por 49% da produção mundial de avelã, seguida da Itália com 10% (Figura 7). Apesar de países como China, Espanha e Irão serem citados ainda como grandes produtores de avelã, a sua produção tem um peso insignificante no mercado mundial.

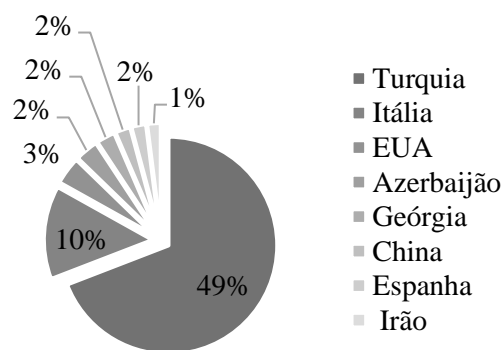


Figura 7. Principais produtores de avelã a nível mundial em 2020 (FAOSTAT, 2020).

A nível mundial, a maior parte da produção de avelã destina-se a indústria e apenas 10% da produção se destina a consumo em fresco. Sendo que a indústria chocolateira consome 70% da produção, seguida da indústria dos gelados e pastelaria que consome 20% da produção (Silva et al., 2003).

Alguns tecidos da aveleira como folhas, amentilhos, frutos e casca são usados para fins medicinais devido essencialmente à presença de flavonóides e taninos (Silva et al., 2003).

O óleo essencial desta planta é usado na indústria dos cosméticos e as cascas são usadas como biomassa sólida, possuindo uma combustão eficiente, devido ao seu baixo teor de humidade, e à sua homogeneidade e reduzida dimensão.

Como referido anteriormente, a indústria chocolateira é o maior setor consumidor de avelã, sendo o principal destino da avelã processada (miolo). Desta forma, países que têm uma forte indústria nesta área são os maiores importadores de miolo de avelã, como é o caso de Alemanha, Itália, França, Bélgica e Suíça. Curiosamente Itália é o segundo maior produtor de avelã, mas esta não é suficiente para suprimir as necessidades do seu mercado, importando avelã maioritariamente da Turquia.

O volume importado de miolo de avelã é mais significativo do que o volume de importação de avelã com casca (Figura 8). Isto acontece essencialmente devido à indústria chocolateira, que prefere o produto já processado. Os principais importadores de avelã com casca é a China (Hong Kong), seguida de Vietname e Itália.

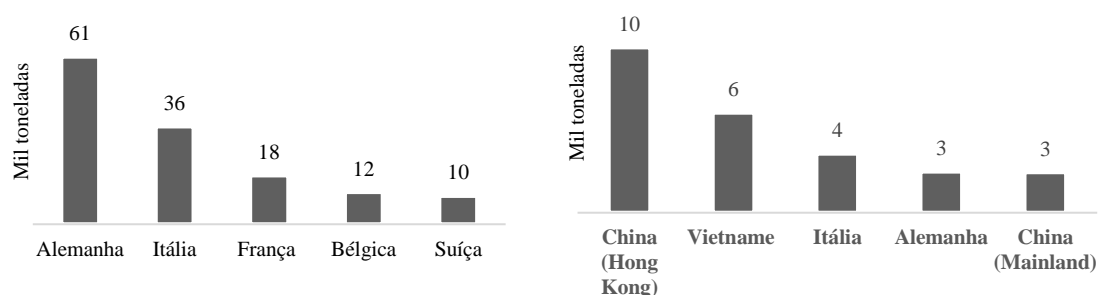


Figura 8. Principais países importadores de miolo de avelã e avelã com casca a nível mundial, entre 2000 e 2020 (FAOSTAT, 2020).

Relativamente às exportações, a Turquia lidera o mercado do miolo de avelã, como era de esperar, devido à elevada produção, fornecendo grande parte dos mercados mundiais (Figura 9). Segue-se Itália, Geórgia, Azerbaijão e Alemanha, como está representado na figura 9. O mercado de exportação de avelã com casca apresenta um volume menor, sendo os Estado Unidos da América que lideram este mercado, seguindo-se China e França onde a fruteira tem também tradição.

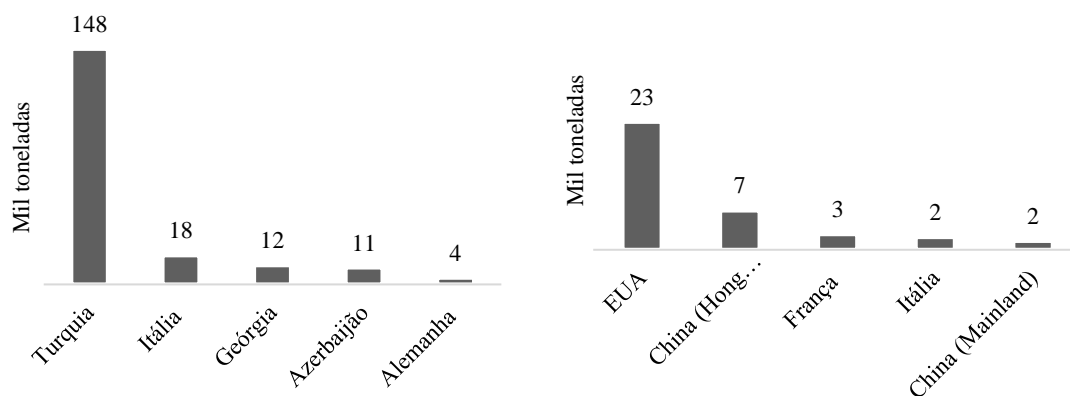


Figura 9. Principais países exportadores de avelã com casca e miolo a nível mundial em 2020 (FAOSTAT, 2020).

A cultura da avelã não tem grande expressão em Portugal. Contudo, foi a partir da década de 1980 que esta frutícola começou a crescer a nível nacional, atingindo uma área cultivada de 1870 ha. Este crescimento esteve relacionado com uma forte divulgação da cultura que ocorreu no país e a um conjunto de apoios económicos ao seu cultivo (Silva et al., 2003).

Entre 1992 e 1999 deu-se um decréscimo acentuado no cultivo de avelã, passando de 1870 ha para 635 ha de área cultivada, o que consequentemente também diminuiu a produção. Nos últimos anos, a área de cultivo e a produção têm-se mantido estáveis (Figura 10).

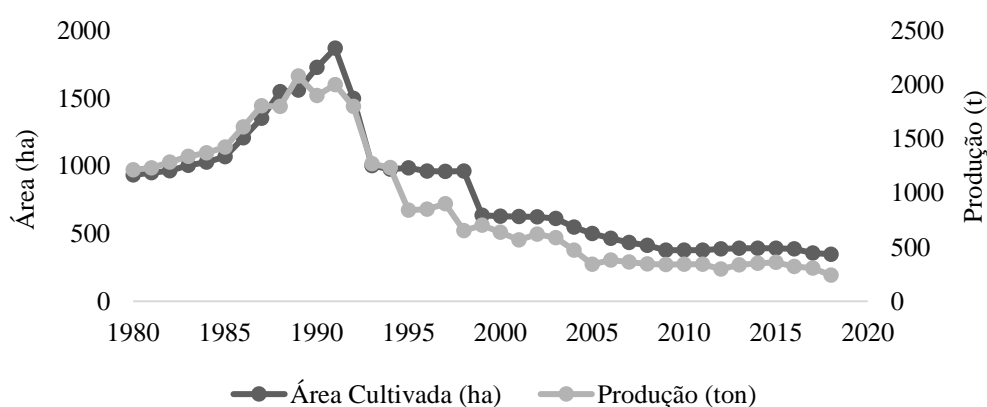


Figura 10. Área de cultivo da avelã e produção de avelã em Portugal, entre 1980 e 2018 (FAOSTAT, 2020).

A produção nacional encontra-se maioritariamente nas regiões centro (Beira Litoral e Beira Interior) e norte (Trás-os-Montes) e, com menor expressão, nas zonas de maior altitude de Alentejo, Ribatejo e Oeste (Silva et al., 2003).

Como a produção interna de avelã não tem relevância a nível mundial, o poder de negociação do preço do produto por parte dos produtores também é baixo. Desta forma, os preços praticados nos últimos anos rondaram 1,70 a 2,0 €/kg. Este valor varia em função do preço do mercado internacional e da qualidade do produto. No ano de 2018 o preço registou o valor mais elevado com 2.20 €/kg (Figura 11). Grande parte da produção Nacional é comercializada e consumida em Portugal.

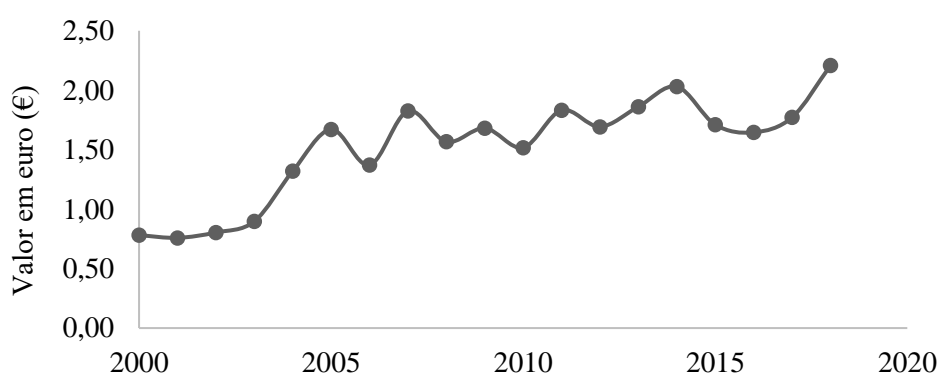


Figura 11. Valor pago aos produtores de avelã com casca em Portugal nos anos de 2000 a 2018 (FAOSTAT, 2020).

2.1.6 – Fertilização da cultura

Uma adequada fertilização é a chave para o desenvolvimento da plantação durante a formação e posteriormente na fase de produção, na medida em que a disponibilidade de nutrientes no solo influencia diretamente o crescimento e rendimento da plantação.

A fertilização deve ser realizada considerando a análise do solo e tendo em conta parâmetros relacionados com as necessidades nutricionais da cultura, com o custo das aplicações e com o risco de ocorrerem perdas de nutrientes para o meio ambiente.

Os nutrientes a considerar para o estabelecimento da cultura são azoto, fósforo, potássio (macronutrientes principais), enxofre, magnésio e cálcio (macronutrientes secundários), boro, zinco e outros micronutrientes (Olsen et al., 2013). Segundo Silva

(2005), a aveleira é uma cultura muito exigente em cálcio e moderadamente exigente em azoto, fósforo e potássio.

O azoto tem influência sobre a atividade vegetativa das plantas durante a fase de formação e produção. No entanto, não é utilizado no início do ciclo vegetativo, sendo adequado fracionar a sua aplicação, evitando desta forma perdas por lixiviação (Silva et al., 2005). Na primavera as necessidades em azoto da aveleira aumentam.

Sempre que o pH for inferior a 5,6 é conveniente corrigi-lo, para que não existam problemas na absorção dos nutrientes. Sendo que a aplicação de calcário aumenta o pH, favorece a solubilidade de diversos nutrientes e influencia o crescimento das raízes (Silva et al., 2005).

O fracionamento do azoto deve ser feito aplicando 35 a 40% das necessidades das plantas entre março e abril (início da primavera), 50% entre maio e junho (após a fecundação) e os restantes 15% entre outubro e novembro (após a colheita) (Silva et al., 2005). A aplicação de pequenas quantidades de azoto antes da queda da folha (setembro a outubro) permite um aumento das reservas na árvore. Sendo que a aveleira utiliza as reservas de azoto armazenadas para estimular o crescimento na primavera, o que facilita o início do desenvolvimento vegetativo a partir do abrolhamento, quando a planta não tem a capacidade de absorver este elemento de forma eficiente a partir da solução do solo (Silva et al., 2005; Olsen et al., 2013).

A título exemplificativo indicam-se no quadro 4 as doses de nutrientes recomendadas para a cultura da aveleira.

Quadro 4. Doses de referência para a cultura da aveleira (Silva et al., 2005).

Nutriente	Dose (kg/ha)	Aplicação
Azoto	120 - 150	Fracionada em três vezes durante a primavera
Fósforo	60 – 70	Primavera
Potássio	100 - 120	Fracionado em duas vezes durante a primavera
Magnésio	15 - 20	Primavera

A deficiência em fósforo provoca problemas na fecundação e frutificação e interfere também no crescimento radicular da aveleira (Silva et al., 2005).

A carência de potássio interfere no desenvolvimento da semente, diminuindo a qualidade da produção e desfavorece a assimilação de azoto nas folhas. A maior absorção de potássio ocorre no período do crescimento ativo do fruto. Desta forma, é adequado

fracionar a aplicação em duas fases, 60% entre janeiro e março e 40% entre junho e julho (Silva et al., 2005).

O magnésio faz parte da molécula da clorofila, participando na formação e acumulação de hidratos de carbono, açúcares, proteínas, vitaminas e outros compostos. A necessidade da sua aplicação geralmente está relacionada com os níveis de potássio e cálcio no solo que, quanto mais elevados forem, maior quantidade de magnésio a cultura vai necessitar (Olsen et al., 2013).

O boro favorece a diferenciação dos gomos e a germinação do pólen, melhorando a qualidade final da produção, tendo um efeito rápido na árvore uma vez aplicado (Silva et al., 2005).

2.2– Agricultura sustentável

Agricultura sustentável é tema de debate há vários anos, tendo ganhado espaço na opinião pública na década de 1970, altura a partir da qual começaram a surgir movimentos cívicos para a consciencialização de que os recursos naturais são limitados.

Em 1987 a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela ONU, estabeleceu uma definição oficial de desenvolvimento sustentável, que foi descrito como sendo, “um desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades” (World Commission on Environment and Development, 1987).

No conceito de desenvolvimento sustentável, assume-se que as decisões tomadas no presente têm impacto no futuro, podendo ser presumíveis e calculadas (Howarth, 1997).

Como o desenvolvimento sustentável é um conceito direcionado para a sociedade, este pode abranger diversas áreas de estudo. Assim, na área agrícola, vários autores chegaram a uma definição teórica do conceito de agricultura sustentável. Para Fernández (2007), agricultura sustentável é a “gestão correta dos recursos naturais, especialmente dos mais limitantes, com viabilidade económica, possibilitando a continuação da atividade agrícola”. Segundo Reganold (2001) “a atividade agrícola sustentável tem de produzir rendimentos adequados de alta qualidade, ser lucrativa, proteger o ambiente, conservar os recursos e ser socialmente responsável a longo prazo”.

O conceito de agricultura sustentável está diretamente ligado ao conceito de sustentabilidade, sendo os dois conceitos multidisciplinares e em ambos é “suposto ser-se ecologicamente correto, socialmente justo e economicamente viável” (Reijntjes et al., 1992).

A implementação e análise do conceito teórico de agricultura sustentável, em estudos práticos é de grande importância, uma vez que existem determinados aspectos que na prática são imprevisíveis, tendo de ser contornados de forma a auxiliar e facilitar a atividade agrícola.

2.2.1 – Qualidade do solo

A qualidade do solo afeta diretamente a produtividade e sustentabilidade da atividade agrícola. Podendo ser representada por um conjunto de parâmetros responsáveis por interações químicas, físicas e biológicas no solo (Bloem et al., 2006). A definição de qualidade do solo foi proposta por vários autores. Karlen (1997) idealizou a qualidade do solo como sendo a sua capacidade em colmatar as exigências da planta, dentro das limitações de um ecossistema, sendo este natural ou não.

A qualidade do solo não é avaliada através de um método direto, encontrando-se envolvidos diversos parâmetros conhecidos como indicadores, a partir dos quais é permitido estimar a mesma (Karlen et al., 1997; Andrews et al., 2004). Os parâmetros escolhidos para cada avaliação dependem do objetivo final para uso do solo (Gardi et al., 2002).

A natureza dos indicadores pode ser física (textura, espessura, densidade do solo, porosidade, capacidade de retenção de água e condutividade), química (matéria orgânica, pH, acidez, nutrientes disponíveis, elementos tóxicos e salinidade) e biológica (microbiologia do solo, azoto mineralizável, respiração, atividade enzimática e quocientes microbianos e metabólicos). É considerado como indicador da qualidade do solo, um parâmetro que tenha uma estreita relação com a função do solo, sensibilidade e rápida resposta às mudanças no meio (Doran e Zeiss, 2000).

É importante identificar e caracterizar as restrições do solo, de forma a perceber quais as falhas que devem ser colmatadas para o desenvolvimento de uma determinada cultura (Lal., 1998). Essas restrições podem estar relacionadas com a perda da fertilidade, erosão, permeabilidade, pH ácido ou alcalino, entre muitas

outras limitações. Posteriormente, é de igual importância num sistema agrosustentável recuperar ou manter a qualidade do solo, de forma a salvar a produtividade.

Por outro lado, a qualidade do solo está sempre dependente de questões edafoclimáticas como temperatura, humidade e precipitação do local, intensidade de uso do solo, cultura atual e anterior, tipo de gestão do terreno entre outros aspetos agronómicos.

2.2.2 – Fertilidade do solo

O conceito fertilidade do solo tem vindo a ser definido por vários autores, existindo uma diretriz semelhante entre eles. Segundo Yague (1994) a fertilidade de um solo é a capacidade que o mesmo tem em fornecer à planta os elementos nutritivos que necessita. De acordo com Santos (2015), fertilidade do solo é a maior ou menor capacidade que um solo tem para satisfazer as exigências decorrentes do potencial produtivo. Posto isto, pode dizer-se que a definição de fertilidade do solo é consensual.

A fertilidade de um solo é identificada quase exclusivamente por parâmetros químicos, que facilmente são corrigíveis, sendo estas limitações detetadas através de análises laboratoriais de solos e plantas. Existem também parâmetros físicos e biológicos que contribuem para a fertilidade do solo, porém são mais difíceis de melhorar, não sendo tão amplamente usados (Santos, 2015).

Por norma, os solos não contêm quantidades suficientes de nutrientes em formas disponíveis para as plantas, nomeadamente azoto, fósforo e potássio, pelo que os seus teores têm de ser complementados através da fertilização, de forma a manter o nível de fertilidade adequado à otimização da produção. Estes nutrientes perdem-se devido às exportações sucessivas na colheita, lixiviação, volatilização, incêndios, etc.

A restituição de nutrientes ao solo pode ser feita de forma natural, como meteorização de minerais primários, entrada de resíduos vegetais e animais e fixação biológica, ou de forma artificial, como adição de estrumes, fertilizantes verdes e/ou fertilizantes minerais (Yague, 1994).

Para além dos macronutrientes, os micronutrientes também podem estar em deficiência nas plantas. Porém, nestes casos tendem a depender de fatores ligados à composição dos solos, a fatores climáticos que interferem na fertilidade, entre outros

fatores relacionados às condições edafoclimáticas do local onde está inserida a cultura.

Em qualquer tipo de agricultura, mas principalmente em sistemas de agricultura em que se vise a sustentabilidade, uma adequada e equilibrada nutrição é particularmente importante quando se procura obter a otimização da produção com o mínimo impacte ambiental. Portanto, para cada agroecossistema é necessário pensar no ciclo de cada nutriente de forma a minimizar as perdas e as exportações, tentando aumentar a eficiência de uso dos nutrientes disponíveis no solo (Tiessen et al., 1994).

2.2.3 – Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica do solo está diretamente relacionado com as condições climáticas da região, textura, atividade biológica do solo, tipo de práticas culturais, taxa de mineralização, quantidade e qualidade de material orgânico regularmente aplicado ao solo (Li et al., 2018). No quadro 5 pode verificar-se a estreita relação entre a matéria orgânica e a fração mineral do solo.

Quadro 5. Classificação do teor de matéria orgânica em função da textura do solo (Santos 2015).

Classificação	Matéria orgânica (%)	
	Solos de textura ligeira	Solos de textura média a pesada
Muito baixo	< 0,5	<1,0
Baixo	0,6 – 1,5	1,1 – 2,0
Médio	1,6 – 5,0	2,1 – 7,0
Alto	5,1 – 10,0	7,1 – 15,0
Muito alto	>10,0	>15,0

Um teor de matéria orgânica adequado no solo beneficia as propriedades físicas, químicas e biológicas. Melhora a estabilidade dos agregados do solo, aumentando a capacidade de retenção de água e a estabilidade da temperatura (Agustí, 2010; Adeli et al., 2017). Um bom teor de matéria orgânica aumenta a capacidade de troca catiónica e a disponibilidade de nutrientes, estabiliza o pH, a condutividade elétrica e favorece a disponibilidade de nutrientes pelo processo de mineralização (Bortolini et al., 2016; Weil

e Brady, 2017). A matéria orgânica favorece também a biologia do solo, fornecendo nutrientes e energia para o desenvolvimento dos microrganismos, responsáveis por processos enzimáticos diversos no solo que conduzem ao aumento da disponibilidade de nutrientes (Li et al., 2018).

A matéria orgânica é considerada um excelente indicador da qualidade do solo, pois regula os processos de natureza física, química e biológica do solo num determinado local (Doran e Parkin, 1994). Sendo assim, a quantidade e a qualidade da matéria orgânica são determinantes na qualidade do solo (Weil & Brady, 2017).

Os solos da região mediterrânica tendem a ter teores de matéria orgânica baixos. Nestes locais, medidas que contribuam para o aumento da matéria orgânica no solo são essenciais para sustentabilidade dos ecossistemas (Santos, 2015).

2.3 – Fertilizantes

Segundo Santos (2015) o termo “fertilizantes” é normalmente usado como abreviatura de "matérias fertilizantes", podendo ser definidos como substâncias que se aplicam ao solo e/ou à parte aérea das plantas com o objetivo de, melhorando a sua nutrição, permitirem obter maiores e/ou melhores produções. De acordo com Yague (1994) os fertilizantes são produtos orgânicos ou minerais que possuem um ou vários macronutrientes principais (azoto, fósforo e potássio) podendo também conter macronutrientes secundários e micronutrientes.

A fertilização é uma prática cultural utilizada com o intuito de evitar deficiências nutricionais na planta, para que esta atinja a máxima rentabilidade na produção. Sendo que os fertilizantes podem ser substâncias naturais ou de síntese, geralmente são adicionados ao solo como substâncias em estado sólido, mas em casos particulares (para colmatar carências nutricionais momentâneas) podem ser aplicados na parte aérea da planta (adubação foliar), sendo que desta forma a fertilidade do solo não vai beneficiar tanto. De forma a preservar o ecossistema envolvente, e em agricultura sustentável, a quantidade usada destes produtos não deve exceder as necessidades da cultura.

Um fertilizante é, assim, uma substância que se aplica a uma cultura, com a finalidade de obter um resultado. Se a finalidade for o aumento rápido da disponibilidade dos nutrientes para as plantas, as substâncias são chamadas de adubos. Já quando as substâncias são aplicadas no solo com a finalidade de intervir em propriedades físicas ou químicas que limitam o adequado desenvolvimento das plantas, as substâncias são

chamadas de corretivos (Santos, 2015).

Para proceder a uma correta fertilização, segundo Yague (1994) devem tomar-se em conta os seguintes aspetos: salvaguardar a fertilidade do solo, repondo as perdas de nutrientes que saem do sistema solo-planta; o aumento da fertilidade não é proporcional ao aumento das doses de fertilizante aplicado; e a adição de uma determinada quantidade de um elemento nutricional é mais eficaz quanto mais afastada a planta se encontra do seu ponto ótimo de crescimento, reduzindo-se a eficácia quando se aplica nutriente em excesso.

Segundo Santos (2015), para além dos fertilizantes se dividirem em adubos e corretivos, estes subdividem-se ainda consoante a sua origem em:

Aadubos minerais – são produtos naturais de origem mineral, ou obtidos industrialmente a partir de substâncias de natureza mineral;

Aadubos orgânicos – são produtos de origem orgânica, proveniente de resíduos animais e/ou vegetais; e

Aadubos minero-orgânicos – têm origem mista, resultando de misturas de adubos minerais com orgânicos.

O mesmo se aplica aos corretivos, assim:

Corretivos minerais – são produtos de origem mineral, com o objetivo de corrigir a reação do solo sempre que este se torne muito ácido ou alcalino; e

Corretivos orgânicos – são produtos de origem animal e/ou vegetal, usados com o objetivo de aumentar ou pelo menos manter o teor de matéria orgânica no solo.

Definem-se ainda os condicionadores do solo como produtos aplicados com o objetivo de atuarem nas propriedades físicas do solo, por exemplo na textura, de forma a melhorar a capacidade de reter ou drenar água.

Os fertilizantes mais usados na agricultura são os adubos de origem mineral, devido ao conteúdo elevado de nutrientes que possuem, menor custo por unidade de elemento, menor teor de humidade e resultado normalmente mais rápido na vegetação (Santos, 2015).

2.3.1 - Nutrientes

O crescimento, desenvolvimento e produção das plantas depende da luz, água e nutrientes. Assim, a nutrição vegetal desempenha um papel importante na otimização da produção.

Santos (2015) define nutrição vegetal como sendo um “conjunto de fenômenos através dos quais a planta retira do meio que a rodeia as substâncias que são necessárias ao seu metabolismo e, como consequência, ao seu crescimento e produtividade”.

Um conjunto de elementos químicos são essenciais ao crescimento das plantas. Para um elemento ser considerado essencial para as plantas tem de satisfazer as seguintes condições:

- i) a sua presença é indispensável para que a planta possa completar o seu ciclo vegetativo;
- ii) deve desempenhar na planta funções específicas e, por isso, não pode ser substituído por qualquer outro; e
- iii) deve estar envolvido no metabolismo da planta, seja de modo direto (constituente de substâncias vitais), seja indiretamente (catalisador, osmorregulador, etc.).

Por sua vez, os elementos essenciais para a planta, dividem-se em macronutrientes (absorvidos em maior quantidade pelas plantas) e micronutrientes (absorvidos em menor quantidade pelas plantas). Sendo que os macronutrientes ainda se subdividem em primários (elementos que na maior parte dos condicionalismos têm de ser aplicados ao solo devido a não estarem presentes em quantidades suficientes para as culturas) e secundários (elementos normalmente existentes no solo em quantidades suficientes para as culturas).

No presente são considerados elementos essenciais às plantas carbono, oxigénio, hidrogénio, azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, zinco, cobre, manganês, boro, molibdénio e cloro (Santos, 2015).

Conhecer as carências nutricionais e corrigi-las da melhor forma em cada cultura é uma peça chave para a obtenção de resultados através da adubação. Ter o conhecimento do efeito negativo que a deficiência de um dado nutriente pode provocar na cultura, sendo este macronutriente ou micronutriente, é importante para se poder fazer uma intervenção adequada.

2.3.2 - Adubos minerais

Os adubos são utilizados com o objetivo de intervir diretamente na nutrição das plantas. Estes produtos podem conter um ou mais macronutrientes principais, secundários, micronutrientes, reguladores de crescimento, entre outras substâncias benéficas para a planta (Santos, 2015).

Segundo Santos (2015), os adubos minerais podem ser subdivididos em função dos elementos nutricionais que contêm em:

Elementares – são compostos apenas por um macronutriente principal, sendo classificados como adubos azotados, fosfatados ou potássicos, consoante o macronutriente principal presente.

Compostos – contêm mais do que um macronutriente principal, podendo conter dois ou três.

Especiais – podem ser adubos elementares ou compostos, aos quais se pode adicionar macronutrientes secundários, micronutrientes, pesticidas, reguladores de crescimento, retardadores da nitrificação, ou podem conter apenas estes elementos sem necessariamente serem conjugados com macronutrientes principais.

Dos três macronutrientes principais, o mais absorvido pela generalidade das culturas é o azoto. Por outro lado, é também o mais difícil de gerir, sendo muito móvel no solo, perde-se muito facilmente por volatilização, lixiviação ou desnitrificação, sendo, por isso, a sua eficiência de aproveitamento por parte das culturas baixa (De Datta, 1981). Por sua vez, no mercado existe uma vasta gama de produtos azotados, com formulações diferentes, de forma a aumentar a eficiência do seu uso por parte das plantas. Sendo assim, estes adubos dividem-se em amoniacais, nítricos, nitroamoniacais, amídicos e nitroamoniacais - amídicos (Santos 2015).

Segundo Reetz (2017) o fósforo tem um papel fundamental na fotossíntese, funcionando na captura e transferência de energia para as ligações químicas. Tecidos meristemáticos jovens têm uma elevada concentração de fósforo. Os materiais genéticos, DNA e RNA, são envolvidos por uma estrutura de átomos de fósforo, executando um papel fundamental no metabolismo dos açúcares e amido, todos críticos nos processos de divisão celular e crescimento.

Os adubos fosfatados são divididos consoante a solubilidade das suas combinações químicas, influenciando na maior ou menor rapidez que atuam nas plantas. Assim, os adubos fosfatados têm em proporção variável de fósforo solúvel em água, em ácido cítrico

a 2%, em citrato de amónio e em ácidos minerais.

O potássio tem a capacidade de se movimentar entre as membranas, favorecendo a absorção de nutrientes, pois contribui para o balanço iónico das cargas elétricas. Tem um papel importante na planta, regulando o fluxo de água e interferindo com o balanço hídrico e intervém também na regulação de processos químicos e enzimáticos (Reetz, 2017).

Estes adubos podem dividir-se em dois grupos, com base no grau de pureza, em sais brutos (obtidos por trituração de salinas naturais) ou sais concentrados (obtidos por purificação ou tratamento dos sais brutos) (Santos, 2015).

Um dos micronutrientes que se revela muito importante em determinadas regiões é o boro. Segundo Santos (2015), este nutriente está envolvido na formação do RNA, na síntese e transformação de glícidos e na proporção de mono e polissacáridos.

A carência de boro é mais provável em zonas com solos de textura ligeira situados em zonas de elevada precipitação (que favorece o arrastamento) e em solos calcários e pobres em matéria orgânica. Entre os micronutrientes, em Portugal, o boro é o que surge mais frequentemente em deficiência. Existem problemas de deficiência deste nutriente em vinha, olival, castanheiros, espécies florestais, árvores de fruto diversas e em dicotiledóneas herbáceas como os trevos (Santos 2015).

Os adubos minerais formulados com azoto, fósforo e potássio são os mais usados na agricultura. Sendo que os adubos azotados ocupam o primeiro lugar no que toca ao consumo. Segundo dados da FAO relativamente ao ano de 2018 (FAO, 2020) foram utilizadas 108 milhões de toneladas destes adubos a nível mundial. No que diz respeito ao consumo de adubos fosfatados e potássicos, os valores são muito próximos. Segundo a FAO relativamente ao ano de 2018 (FAO, 2020) foram utilizados 40 milhões de toneladas de adubos fosfatados e 38 milhões de toneladas de adubos potássicos. Portugal segue a tendência europeia e mundial relativamente ao consumo de adubos, sendo os adubos azotados os mais consumidos (100.450 t em 2018) seguido dos adubos fosfatados (47.787 t) e quase no mesmo patamar que os anteriores os adubos potássicos (34.257 t).

Quanto à evolução do consumo destes adubos nos últimos anos, é evidente um aumento do uso de adubos azotados a nível mundial e europeu. O uso de adubos fosfatados e potássicos tem valores muito semelhantes e tem-se mantido estável nos últimos anos, tanto a nível mundial como europeu. Já em Portugal, o consumo de adubos azotados, fosfatados e potássicos tem tido diversas oscilações. No que diz respeito aos adubos mais utilizado, é acompanhada a tendência mundial, sendo estes os adubos

azotados. Contudo, o consumo de adubos azotados não apresenta um aumento, mas sim uma ligeira descida, tal como se verifica também com os restantes adubos, como se pode observar na figura 12.

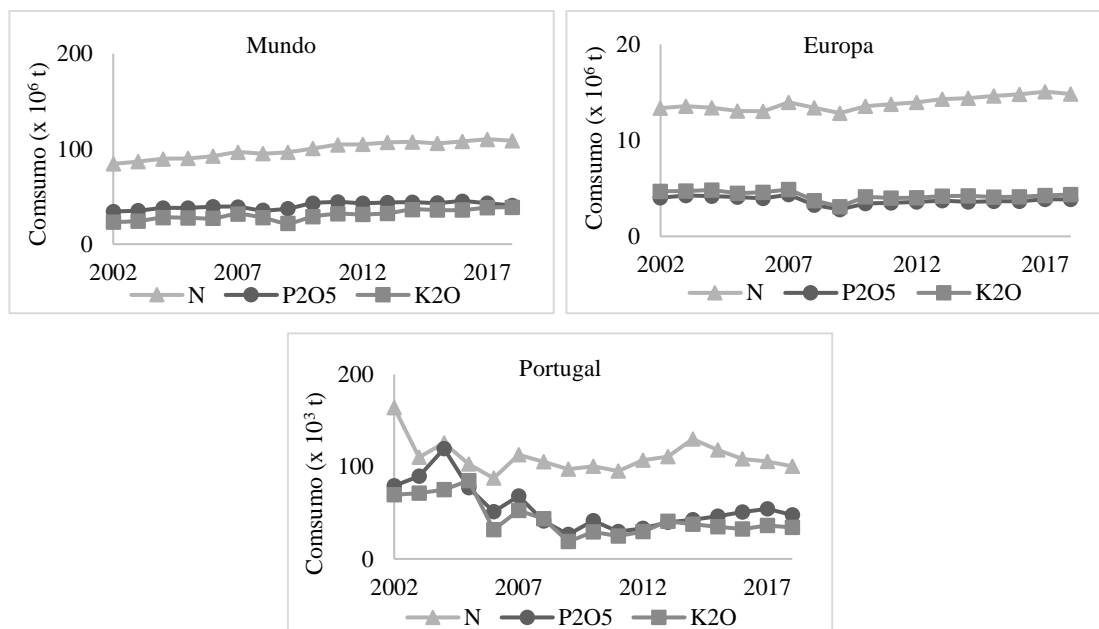


Figura 12. Consumo de adubos elementares azotados, fosfatados e potássicos nos últimos anos (2002 a 2018), no Mundo, na Europa e em Portugal (FAOSTAT, 2020).

2.4 – Bioestimulantes das plantas

O conceito bioestimulantes das plantas tem vindo a ser estabelecido ao longo nos anos por vários autores. Os bioestimulantes podem ser definidos como produtos cuja função quando aplicados na parte aérea da planta ou no solo é estimular processos naturais, de forma a melhorarem a eficiência na absorção e utilização dos nutrientes (Calvo et al., 2014; Jardim, 2015; Colla et al., 2015). Os biostimulantes promovem também a tolerância das plantas a stresses abióticos, otimizam o uso da água e podem elevar a quantidade e a qualidade das produções (Calvo et al., 2014; du Jardim, 2015). No Regulamento (UE) 2019/1009, um bioestimulante das plantas tem como função estimular processos relacionados com a nutrição vegetal, independentemente do seu conteúdo em nutrientes, com o único objetivo de melhorar uma ou mais das seguintes características da planta ou da qualidade do solo: i) eficiência no uso de nutrientes; ii) tolerância ao

stresse abiótico; iii) características de qualidade; ou iv) disponibilidade de nutrientes no solo ou na rizosfera.

Inicialmente os bioestimulantes das plantas eram utilizados sobretudo em agricultura biológica. Porém, nos últimos anos têm sido usados na agricultura convencional, promovendo uma agricultura mais sustentável (Calvo et al., 2014; Buono, 2021).

Estes produtos são compostos por diferentes grupos de substâncias capazes de aumentar a disponibilidade de nutrientes e otimizar a sua eficiência de uso por parte das plantas, traduzindo-se em resultados positivos na produtividade e qualidade dos produtos (Buono, 2021). A sua função principal não é fornecer nutrientes ou atacar pragas, mas sim melhorar a eficiência do uso de nutrientes por parte das plantas e aumentar a sua resistência a stresses impostos pelo meio envolvente (Calvo et al., 2014; Colla et al., 2015).

Os biostimulantes das plantas derivam de uma ampla gama de substâncias ou microrganismos, sendo agrupados da seguinte forma: ácidos húmicos e fúlvicos; proteínas hidrolisadas e aminoácidos; extratos de algas marinhas; microrganismos benéficos (fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de azoto); quitosana e outros biopolímeros (du Jardin, 2015).

A União Europeia é o maior consumidor destes produtos no mundo, talvez devido a estimular a implementação de políticas destinadas a promover a agricultura sustentável e o uso de produtos com menor impacto ambiental (Buono, 2021).

2.4.1 - Ácidos húmicos e fúlvicos

Os ácidos húmicos e fúlvicos são constituintes naturais da matéria orgânica do solo, resultando da decomposição de plantas, animais e microrganismos. São encontrados e extraídos da matéria orgânica humedecida naturalmente (turfas ou solos vulcânicos), de compostos e vermicompostos ou de depósitos minerais. Também podem ser produzidos de uma forma artesanal, através da decomposição controlada e oxidação por processos químicos, de subprodutos agrícolas, como alternativa à compostagem ou mesmo a decomposição do solo (du Jardin, 2015; Yilmaz, 2021).

Estas substâncias são agrupadas, de acordo com o seu peso molecular e solubilidade, em huminas, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. Os ácidos húmicos representam a fração do composto orgânico solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio

ácido ($\text{pH} < 2$), os ácidos fúlvicos representam a fração solúvel em meio alcalino e ácido e a humina é a fração insolúvel em qualquer gama de pH. Existe outra diferença entre eles, os ácidos húmicos normalmente possuem elevado peso molecular, enquanto os ácidos fúlvicos têm peso molecular mais baixo (Calvo et al., 2014).

As substâncias húmicas contribuem para a fertilidade do solo, interferindo positivamente nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Além disso, estas substâncias estão relacionadas com a matéria orgânica, os microrganismos do solo e as raízes das plantas. Elas contribuem para funções importantes no solo, como o controlo da disponibilidade de nutrientes, as trocas gasosas entre solo e atmosfera e a transformação e imobilização de produtos químicos tóxicos (Calvo et al., 2014; Rose et al., 2014).

A resposta das plantas à aplicação de substâncias húmicas depende das condições ambientais, da cultura e da dose e forma de aplicação (Rose et al., 2014).

2.4.2 - Proteínas hidrolisadas e aminoácidos

Este grupo de bioestimulantes obtêm-se através da hidrólise de proteínas de origem vegetal ou animal, sendo que o objetivo final é dispor de um produto rico em aminoácidos e peptídeos (Calvo et al., 2014; Jardim, 2015). Os aminoácidos são constituintes básicos das proteínas, que se caracterizam por possuir um grupo amina (NH_2) e um grupo carboxilo (COOH), ligados a um átomo de carbono (C), que por sua vez tem ligação com um hidrogénio (H) e um radical característico de cada tipo de aminoácido (Calvo et al., 2014).

Existem diversos aminoácidos que têm funções específicas nas plantas como é o caso da glicina, que está presente na formação da clorofila, do ácido glutâmico, que interfere no crescimento e funcionamento dos meristemas, da prolina e hidroxiprolina, que estão ligadas à viabilidade do grão de pólen e consistência das paredes celulares, da alanina, que é relevante na generalidade dos processos fisiológicos, da arginina, que está envolvida em processos do sistema radicular, da serina, que é interveniente no balanço hídrico, e da fenilalanina, que é responsável pela formação da lenhina (Sharma e Dietz, 2006; du Jardim, 2015).

As fontes para obtenção destes materiais são subprodutos da agricultura (restos de colheitas) e da pecuária (colagénio, tecidos epiteliais) (Calvo et al., 2014; Jardim, 2015). Estes produtos têm efeitos diretos na nutrição e crescimento das plantas, otimizam o processo de absorção e assimilação de azoto, promovendo o metabolismo do carbono e

do azoto nas plantas e aumentam a biomassa e a atividade microbiológica do solo (Külahtaş e Çokuysal, 2016). Foi também verificado que estimulam a atividade antioxidante na planta, reforçando a sua resistência aos stresses ambientais (du Jardin, 2015; Külahtaş e Çokuysal, 2016; Buono, 2021). Todos estes aspetos são traduzidos em aumento de rendimento e da qualidade da produção, podendo os produtos ser aplicados à parte aérea da planta ou ao solo (Buono, 2021).

2.4.3 – Extratos de algas marinhas

Os extratos de algas marinhas surgiram recentemente na agricultura, embora as algas em si tenham sido amplamente utilizadas na agricultura tradicional desde tempos imemoriais, como fonte de matéria orgânica e nutrientes. O uso de extratos de algas marinhas e dos seus compostos purificados, que incluem polissacarídeos laminarinos, alginatos, carragenanos, são cada vez mais estudados pela comunidade científica e preparados pela indústria para o mercado (du Jardin, 2015).

A fonte destes produtos são as algas marinhas, sendo que na sua maioria são utilizadas espécies pertencentes ao grupo das algas castanhas (sobretudo dos géneros *Ascophyllum*, *Fucus* e *Laminaria*) (du Jardin, 2015). Os extratos de algas são ricos em macro e micronutrientes, aminoácidos, esteróis, e diversos outros compostos, como betaínas, e hormonas, como citociminas, auxinas e giberelinas (Buono, 2021).

Os extratos de algas podem ser aplicados ao solo, usados em soluções hidropónicas ou em adubação foliar. Optando por aplicar ao solo, vão contribuir para aumentar a disponibilidade de nutrientes e a capacidade de troca catiónica e favorecer a microbiologia do solo. Aplicados na parte aérea da planta atuam como fertilizantes, fornecendo nutrientes. Em ambas as formas de aplicação fortalecem o crescimento das plantas, aumentam o rendimento e a vida útil do fruto após a colheita e fornecem mecanismos de defesa contra os stresses do meio envolvente (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015).

2.4.4 – Microrganismos benéficos

Fazem parte deste grupo fungos e bactérias que de alguma forma aportam benefícios para as plantas. Os fungos interagem com as raízes das plantas de diversas maneiras, desde mutualismo até parasitismo. No grupo dos fungos que estabelecem

relações mutualistas com as plantas, os mais utilizados na agricultura e, por sua vez, mais estudados são os fungos micorrízicos, sendo que estabelecem simbiose com mais de 90% das espécies vegetais (du Jardin, 2015).

O interesse por este tipo de produto tem vindo a crescer, muito relacionado com o crescente desenvolvimento da agricultura sustentável. Os fungos micorrízicos estabelecem simbioses com as plantas e facilitam a absorção de nutrientes (especialmente fósforo), aumentando também a tolerância das plantas a stresses abióticos e bióticos, e melhorando o rendimento das culturas (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015).

As principais bactérias benéficas para as plantas fazem parte do grupo dos microrganismos fixadores de azoto. Algumas atuam na rizosfera, sendo por vezes designadas rizobactérias que promovem o crescimento das plantas, outras invadem os tecidos das plantas, estabelecendo verdadeiras simbioses com as plantas e tendem a ser designados de rizóbios. As segundas têm sido estudadas e usadas comercialmente por promoverem a fixação biológica de azoto e o fornecerem às plantas. Das primeiras esperam-se efeitos benéficos diversos, interagindo na nutrição e na resposta a stresses bióticos e abióticos (Calvo et al., 2014; du Jardin, 2015).

2.4.5 - Quitosana e outros biopolímeros

Biopolímeros de quitina e quitosana são amplamente usados no sector alimentar, cosmético e agora como bioestimulantes na agricultura. São obtidos principalmente de animais marinhos e cogumelos (Jardin, 2015).

Os benefícios que estes produtos aportam à planta são maioritariamente a nível fisiológico. Podem melhorar a estrutura da membrana plasmática e da parede celular e a resposta a stresses abióticos (Hadwiger, 2013; Katiyar et al., 2015). Existem também estudos que revelam efeitos positivos na proteção contra fungos patogénicos e melhorias na qualidade dos frutos (Iriti et al., 2009).

3 – Materiais e métodos

3.1 – Caracterização do local e delineamento experimental

O ensaio foi instalado na localidade de Travanca, no concelho de Macedo de Cavaleiros, concelho de Bragança, na região de Trás-os-Montes (Figura 13).

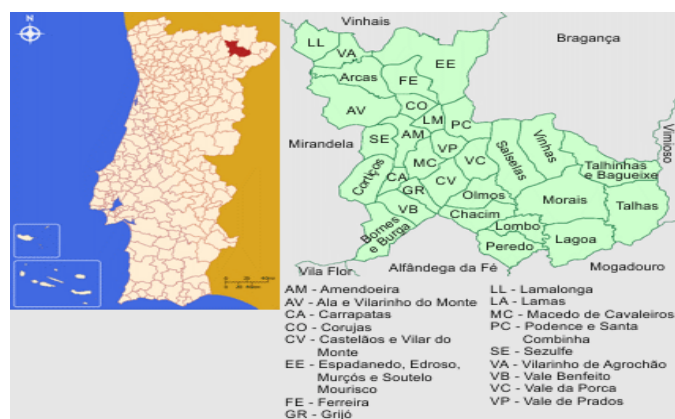


Figura 13. Localização de Macedo de Cavaleiros (a vermelho) no mapa de Portugal e suas freguesias (Artur, 2005).

O ensaio foi instalado em março de 2019, num pomar de aveleiras da variedade Ennis, conduzido em sequeiro. O pomar está plantado num compasso $5,0 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$, a que correspondem aproximadamente $570 \text{ árvores ha}^{-1}$. Um aspeto do local pode ser visto na figura 14.



Figura 14. Pomar onde foi instalado o ensaio.

Foi realizada uma análise inicial ao solo, sendo os valores apresentados no quadro 6. Os resultados indicam que o solo é ácido, com teor médio de fósforo e alto de potássio e capacidade de troca catiónica baixa.

Quadro 6. Teores de carbono (C) orgânico, pH(H₂O), pH(KCl), fósforo (P₂O₅), potássio (K₂O), boro, bases do complexo de troca e capacidade de troca catiónica (CTC) na amostragem inicial do solo efetuada a 0,20 m de profundidade.

C orgânico g kg ⁻¹	pH		Macronutrientes		Micronutrientes	Bases do complexo de troca					
	H ₂ O	KCl	P ₂ O ₅	K ₂ O	Boro	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	CTC	
			----- mg kg ⁻¹ -----					----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
9,40	5,7	4,9	96	157	0,1	5,2	1,1	0,2	1,3	7,6	

O delineamento experimental do ensaio foi organizado em blocos casualizados com seis tratamentos e três repetições de três árvores. No pomar foram marcadas seis linhas, com árvores o mais homogêneas possível e dentro de cada linha foram marcadas nove árvores, organizadas em grupos de três ao longo da pendente, tendo cada repetição três árvores.

Todas as árvores foram fertilizadas anualmente com boro ao solo, devido ao reconhecido problema deste nutriente na região nas espécies dicotiledóneas. Foi aplicado Neobor® (tetraborato de sódio pentahidratado, 14,85% B) na quantidade 421 g de adubo na linha, o que corresponde a uma dose de 2 kg/ha.

Após sorteio, os tratamentos foram dispostos por linha da seguinte forma:

Linha 1 – Adubo composto NPK 10:10:10 (10% N, P₂O₅, K₂O) aplicado ao solo (NPK);

Linha 2 – Adubo composto NPK 10:10:10 aplicado ao solo + Fitoalgas Green® (extrato de algas *Ascophyllum nodosum*) aplicado por via foliar (NPK+FA);

Linha 3 - Sprint Plus® (aminoácidos livres, 28,8% p/v) aplicado por via foliar (SP);

Linha 4 – Adubo composto NPK 10:10:10 aplicado ao solo + Sprint Plus® aplicado por via foliar (NPK+SP);

Linha 5 - Fitoalgas green® aplicado por via foliar (FA); e

Linha 6 – Testemunha sem adubação (Test).

O adubo composto 10:10:10 foi aplicado de uma só vez na quantidade de 18,95 kg de adubo por linha, o que corresponde à aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O. A aplicação foi efetuada no fim do mês de março.

Os produtos bioestimulantes, Sprint Plus® e Fitoalgas Green®, foram aplicados duas vezes em 2019 e três em 2020 vezes durante o ciclo vegetativo, nas quantidades 1,5 L ha⁻¹ e 3,0 L ha⁻¹, respetivamente.

3.2 – Colheita de amostras

3.2.1 – Colheita e processamento das amostras de folhas

Foram feitas colheitas de folhas durante dois anos (2019 e 2020). Em 2019 foram feitas duas colheitas, antes de iniciar a aplicação dos produtos foliares (26/07) e depois da frutificação (30/08). Em 2020 foram feitas três colheitas, duas delas na mesma altura que no ano anterior e outra antes da segunda aplicação foliar (22/06, 23/07 e 19/09). A colheita de folhas foi realizada de acordo com as normas para a cultura, sendo colhidas folhas jovens com o limbo expandido e percorrendo todos os quadrantes das árvores (Arrobas et al., 2018). Após a colheita, as folhas foram secas numa estufa ventilada à temperatura de 70 °C. Após secas, foram moídas num moinho com crivo de 1 mm. Posteriormente procedeu-se a determinação da sua composição elementar.

3.2.2 – Colheita e processamento das amostras de solo

Foram colhidas amostras de solo compósitas (10 pontos de amostragem por amostra) na profundidade 0-0.20 m em cada um dos tratamentos e repetições. Em seguida, as amostras foram colocadas a secar em estufa de ventilação forçada regulada a 40 °C, e posteriormente crivadas em crivo de malha de 2 mm antes de enviadas para análise.

3.2.3 – Colheita de amostras de frutos

Na colheita 2019 e 2020 foram retiradas amostras para análise laboratorial. Em laboratório, a casca foi separada do miolo e de seguida foram secas em estufa e moídas como as amostras de folhas.

3.3 – Determinações laboratoriais

3.3.1 – Análises de solos

3.3.1.1 – Determinação da matéria orgânica

A matéria orgânica foi determinada pelo método Walkley-Black, que consiste na digestão húmida da matéria orgânica da amostra de solo, com uma mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico a uma temperatura de aproximadamente 120 °C, durante 30 minutos, para oxidar formas de carbono orgânico facilmente oxidáveis. Para a determinação do carbono facilmente oxidável, o dicromato residual foi titulado com sulfato de ferro e o teor de matéria orgânica foi estimado através da multiplicação da percentagem de carbono pelo fator 1,72, tendo em conta a suposição de que a matéria orgânica da amostra de solo contém cerca de 58% de carbono (Van Reeuwijk, 2002).

3.3.1.2 – Determinação do pH

O pH foi determinado em água a partir da proporção entre solo e água de 1 para 1,25 (p/v), e após agitação por 2 horas. A leitura foi feita por potenciometria. Foi também determinado o pH em cloreto de potássio, usando uma proporção de 1 para 2,5 (p/v) de solo e solução de 1M KCl, após agitação por 2 horas. A leitura fez-se também por potenciometria.

3.3.1.3 – Determinação de capacidade de troca catiónica

Foram pesadas 2,5 gramas de solo e adicionados 50 ml de uma solução de acetato de amónio tamponizada a pH 7. Após 30 minutos de contato e agitação, os catiões Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} foram determinados no extrato filtrado por espectrofotometria de absorção atómica (Van Reeuwijk, 2002) num equipamento PYE Unicam PU 9100X.

3.3.1.4 – Determinação da acidez de troca

Foram colocadas 10 gramas de amostra de solo em contacto com 100 ml de uma solução de KCl 1M e agitada durante 30 minutos. Depois de filtrada a suspensão fez-se uma titulação com NaOH 0,1 M usando a fenolftaleína como indicador (Sims, 1996).

3.3.1.5 – Determinação do fósforo e potássio extraíveis

Foram determinados de acordo com o método de Egner-Riehm, que consiste numa mistura com a proporção de 1:20 (p/v), de uma amostra de solo e uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH 3,5, agitando-se durante duas horas (MAP, 1977). Após filtração, o fósforo (P_2O_5) foi determinado por espectrofotometria UV/VIS no comprimento de onda 882 nm, após o desenvolvimento de cor pelo método do ácido ascórbico. Este método de desenvolvimento de cor consiste na formação de um complexo ácido fosfomolibdénico que foi reduzido a azul-fosfo-molibdénico na presença de ácido ascórbico (Van Reeuwijk, 2002). O equipamento utilizado foi um espectrofotómetro UV/VIS T80 PG Instrument Lda. A quantificação do potássio (K_2O) realizou-se por fotometria de chama (MAP, 1977) no equipamento fotómetro de chama Jenway.

3.3.1.6 – Determinação de cobre, ferro, zinco e manganês

Os elementos cobre, ferro, zinco e manganês foram extraídos com uma solução de acetato de amónio, ácido acético e ácido etileno diaminotetracético e medidos por espectrometria de absorção atómica (Lakanen & Ervio, 1971) num equipamento PYE Unicam PU 9100X.

3.3.1.7 – Determinação de boro

O boro foi extraído pelo método de água fervente na presença de $CaCl_2$ 0,1M. A quantificação do boro extraído foi feita pelo método colorimétrico que usa a azometina-H como reagente de desenvolvimento de cor (Keven, 1996) e é depois determinado num espectrofotómetro UV/VIS a 430 nm.

3.3.2 - Análises de tecidos vegetais

3.3.2.1 – Determinação de azoto

Foi pesado 1 grama de amostras de tecido vegetal que foram transferidos para tubos de digestão para equipamentos Kjeldahl e colocados em um suporte de alumínio com capacidade para 20 frascos. Adicionaram-se duas pastilhas de um catalisador (selênio) e 15 ml de ácido sulfúrico concentrado (95-97%). Em seguida, as amostras foram aquecidas a 400 °C durante 40 minutos. Terminado o período de digestão, deixou-se arrefecer e colocou-se o tubo de digestão num equipamento automático Kjeltex TM 8400 Analyser unit FOSS (figura 7), ao qual foi adicionada uma quantidade de hidróxido de sódio. A amónia formada é arrastada na corrente de vapor e titulada com ácido clorídrico num vaso com uma solução recetora de ácido bórico e indicadores (Bremner, 1996).

3.3.2.2 – Determinação de boro

Pesou-se 1 grama das amostras sendo transferidas para cadinhos onde se adicionou 0,10 g de óxido de cálcio e se misturou até a amostra ficar homogénea. De seguida, os cadinhos foram 90 minutos para uma mufla onde se realizou a queima das amostras à temperatura de 500 °C. Após a queima adicionaram-se 10 ml de ácido sulfúrico 0,5 M e após 30 minutos filtraram-se as amostras. Posteriormente, transferiu-se 1 ml das amostras para tubos de 10 ml de polipropileno e foram adicionados 2,0 ml de azometina-H e 30 minutos depois do desenvolvimento de cor realizaram-se as leituras de absorbância das amostras em espectrofotómetro com comprimento de onda 420 nm (Walinga et al., 1989).

3.3.2.3 – Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês

Foram pesados 0,25 g das amostras sendo transferidas para tubos de digestão aos quais se adicionaram 10 ml de ácido nítrico. Os tubos foram fechados e levados para digestão em micro-ondas MARSXpress. Após a digestão, o líquido foi transferido para um tubo 50 ml que se completou com água desionizada. Foram quantificados os teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês em espectrofotómetro de absorção atómica num equipamento PYE Unicam PU 9100X. Para a determinação do

fósforo, após a diluição adicionou-se 4,0 ml da solução molibdato de amónio azul com ácido ascórbico. Após 35 minutos foram realizadas as leituras de absorbância em espectrofotómetro a um comprimento de onda 882 nm (Walinga et al., 1989).

3.3.3 - Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade de variância usando os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett's, respetivamente. De seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA, $P < 0,05$) e quando se observaram diferenças significativas estas foram separadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As análises foram feitas no programa estatístico SPSS.

4 – Resultados

4.1 – Concentração de nutrientes nas folhas

A figura 15 apresenta a concentração de azoto nas folhas em função dos tratamentos. Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração de azoto nas folhas em três das cinco datas analisadas. De um modo geral as médias da testemunha surgem na parte inferior do conjunto de dados. Entre os tratamentos fertilizados, os valores tendencialmente mais baixos surgiram em SP. Entre os restantes tratamentos surgiram diferenças mínimas e a variar entre datas de amostragem.

A primeira data de amostragem de 2019 registou os valores de concentração mais elevados nas folhas. Nos tratamentos NPK, NPK+FA e FA foram registados valores acima de $20,5 \text{ g kg}^{-1}$. Na segunda data de 2019 registou-se um forte decréscimo, tendo os valores mais elevados sido registados nos tratamentos FA, NPK+SP, NPK+FA e NPK, acima de $17,4 \text{ g kg}^{-1}$.

Em 2020 ocorreu um decréscimo de concentração de azoto nas folhas entre a segunda e terceira datas de amostragem. Os valores mais elevados da primeira, segunda e terceira data de amostragem foram, respetivamente, $19,31$, $17,83$ e $16,2 \text{ g kg}^{-1}$.

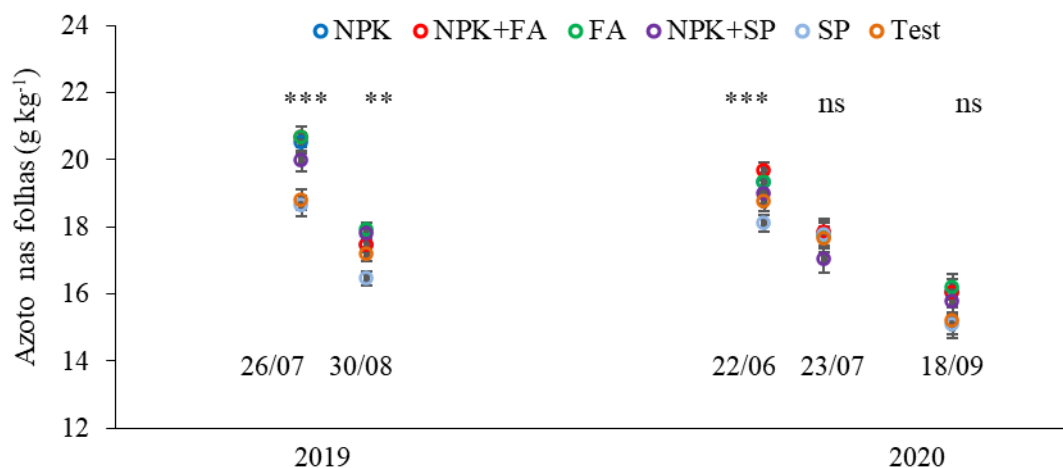


Figura 15. Concentração de azoto nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração de fósforo nas folhas das aveleiras em três das cinco datas analisadas (Figura 16). Entre os tratamentos fertilizados, os valores tendencialmente mais baixos surgiram em NPK+FA e NPK+SP, sendo que foi nas datas de 2020 que as diferenças significativas se manifestaram.

Na primeira data de amostragem de 2019, SP mostrou valores médios mais elevados, ainda que sem diferenças significativas, sendo que na segunda data foi o tratamento FA que deu origem aos valores médios mais elevados. Contudo, em ambas as datas, os valores estiveram acima de $1,1 \text{ g kg}^{-1}$.

Nas amostragens de 2020 registou-se um forte decréscimo na concentração de fósforo entre a primeira e as restantes datas de amostragem. Na primeira data de amostragem o valor mais elevado foi registado no tratamento não fertilizado ($2,8 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto o valor mais baixo foi registado em NPK+SP ($2,0 \text{ g kg}^{-1}$). Contrariamente, nas segunda e terceira datas de 2020 os valores mais elevados de fósforo foram registados no

tratamento fertilizante FA (1,1 e 1,2 g kg⁻¹, respetivamente) e os valores mais baixos foram registados no tratamento não fertilizado (0,90 e 0,91 g kg⁻¹).

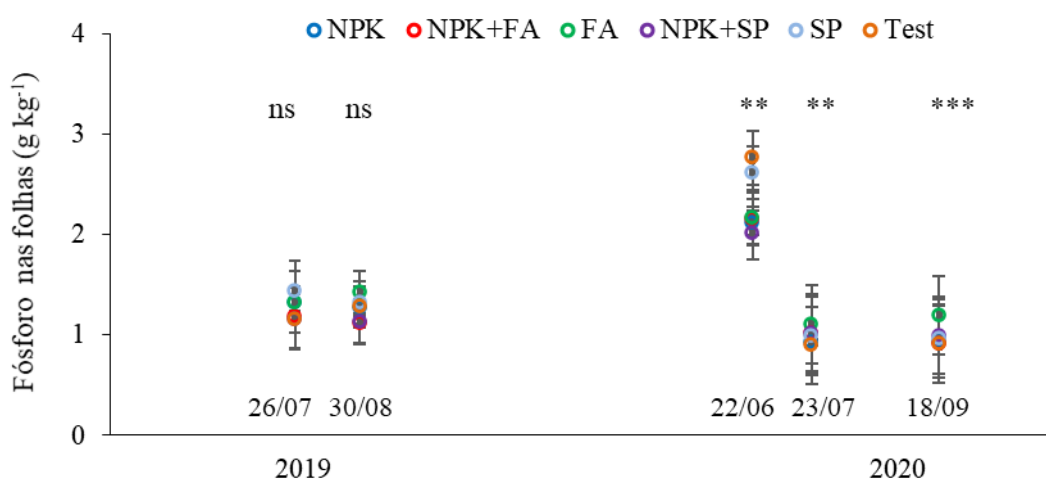


Figura 16. Concentração de fósforo nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

A concentração de potássio nas folhas é apresentada na figura 17. Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração de potássio nas folhas em duas das cinco datas analisadas.

Em 2019 ocorreu um decréscimo na concentração de potássio da primeira para a segunda data de amostragem, tendo-se mantido a tendência nos resultados das três amostragens de 2020. De uma forma geral, a testemunha mostrou tendência para valores de potássio nas folhas mais baixos. Na primeira data de 2019 verificaram-se diferenças significativas entre tratamentos, sendo de destacar os valores mais elevados no tratamento FA (7,6 g kg⁻¹) e os mais baixos do tratamento não fertilizado (5,8 g kg⁻¹). Em 2020, na segunda data de amostragem ocorreram diferenças significativas entre tratamentos, sendo o valor mais elevado correspondente ao tratamento NPK+FA (8,7 g kg⁻¹), seguido do tratamento FA (8,6 g kg⁻¹), e o valor mais baixo na testemunha não fertilizada (6,5 g kg⁻¹).

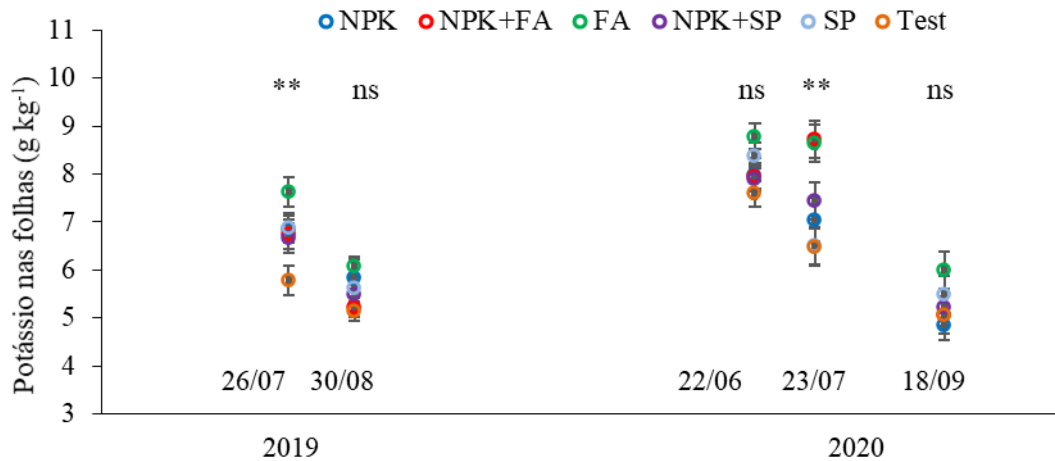


Figura 17. Concentração de potássio nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

Na figura 18 apresenta-se a concentração de cálcio nas folhas em função dos tratamentos. Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração cálcio nas folhas numa das cinco datas analisadas.

Em 2019 correu aumento na concentração de cálcio entre a primeira e a segunda data de amostragem e em 2020 observou-se também aumento de concentração entre datas ao longo da estação de crescimento. Em 2019, o tratamento NPK+FA originou os valores mais elevados (7,4 e 8,5 g kg⁻¹), ainda que sem diferenças significativas entre tratamentos. Os valores mais baixos foram registados no tratamento FA (6,4 e 7,2 g kg⁻¹).

Na primeira data de 2020 o valor mais elevado de cálcio nas folhas foi obtido no tratamento fertilizante NPK (6,3 g kg⁻¹) e o mais baixo no tratamento fertilizante FA (5,3 g kg⁻¹). Nas segunda e terceira datas de amostragem o tratamento testemunha registou as concentrações de cálcio mais elevadas, 7,4 e 8,6 g kg⁻¹, respetivamente. O valor mais baixo foi registado nas árvores tratadas com FA em ambas as datas, 6,9 e 8,0 g kg⁻¹ respetivamente.

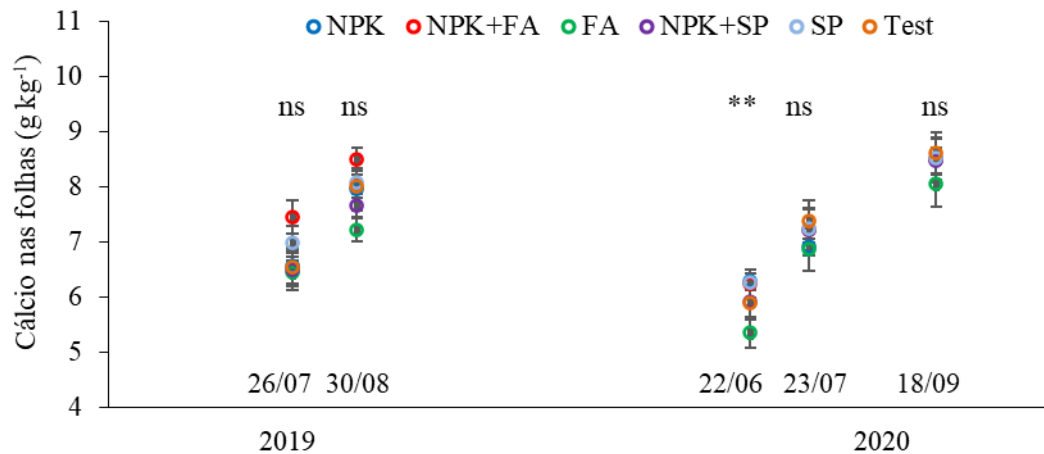


Figura 18. Concentração de cálcio nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração de magnésio nas folhas em duas das cinco datas de amostragem (Figura 19). De um modo geral, não ocorreram oscilações na concentração de magnésio entre datas de amostragem em qualquer dos anos.

Nas duas datas de 2019 os tratamentos FA e NPK+FA registaram os valores mais elevados de concentração de magnésio nas folhas, acima de $1,4 \text{ g kg}^{-1}$. Os valores mais baixos, por seu lado, foram registados em ambas as datas no tratamento não fertilizado, com concentrações de $1,1$ e $1,2 \text{ g kg}^{-1}$.

Nas duas primeiras datas de 2020 o tratamento NPK registou os valores mais elevados de magnésio nas folhas, respetivamente $2,2$ e $2,1 \text{ g kg}^{-1}$. O tratamento FA foi, por sua vez, onde se registaram os valores mais baixos em ambas as datas ($1,7$ e $1,9 \text{ g kg}^{-1}$). Na terceira data de amostragem os teores mais elevados ($2,3 \text{ g kg}^{-1}$) e mais baixos ($1,8 \text{ g kg}^{-1}$) de magnésio nas folhas foram registados nos tratamentos NPK+FA e SP, respetivamente.

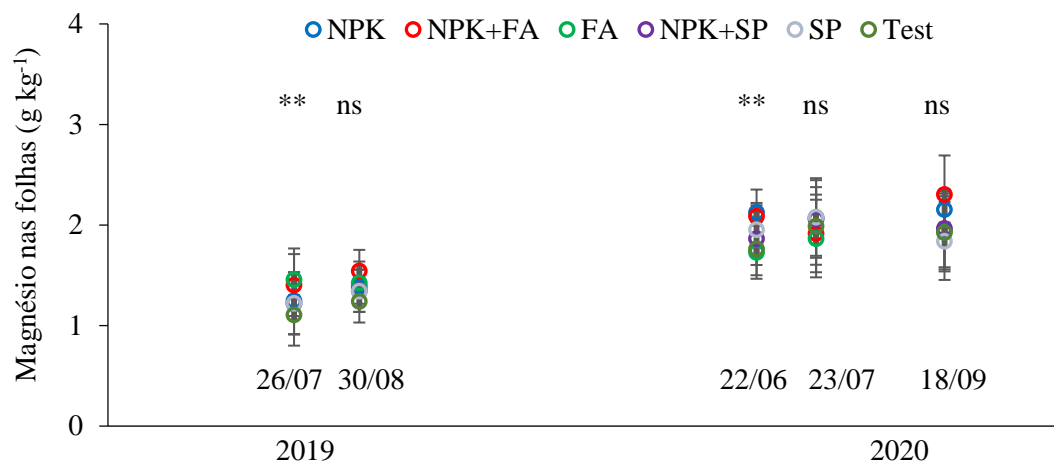


Figura 19. Concentração de magnésio nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

A figura 20 mostra a concentração de boro nas folhas. Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração de boro nas folhas em apenas uma das cinco datas analisadas. Entre os tratamentos fertilizados, os valores tendencialmente mais baixos surgiram no NPK. Entre os restantes tratamentos os valores variam entre si nas diferentes datas de amostragem.

Na primeira data de amostragem de 2019 o tratamento que registou a concentração mais elevada de boro nas folhas foi NPK+FA (94 mg kg^{-1}) e a mais baixa foi o tratamento não fertilizado (82 mg kg^{-1}). Na segunda data de amostragem de 2019 ocorreu um decréscimo na concentração de boro nas folhas, sendo que os tratamentos FA e SP registaram a concentração mais elevada, ambos com 84 mg kg^{-1} .

Em 2020, o tratamento que registou a concentração de boro nas folhas mais elevada na primeira data foi NPK+FA (89 mg kg^{-1}) seguido de FA (88 mg kg^{-1}). Nas segunda e terceira datas os valores mais elevados foram 99 e 92 mg kg^{-1} , que correspondem aos tratamentos NPK+SP e Test, respetivamente.

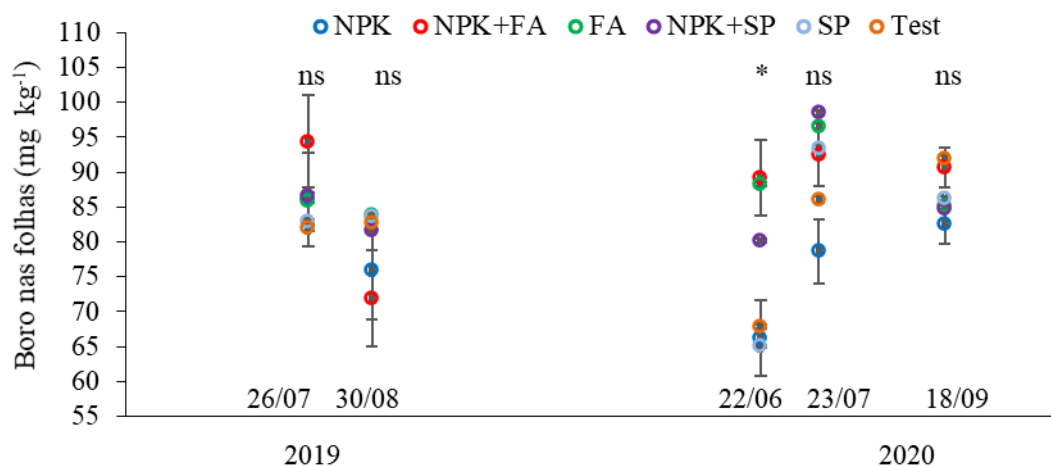


Figura 20. Concentração de boro nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

Na figura 21 é apresentada a concentração de ferro nas folhas. Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração de ferro nas folhas em duas das cinco datas analisadas. Em 2019 verificou-se uma ligeira subida na concentração de ferro entre a primeira e segunda datas de amostragem. Nas datas de amostragem de 2020 registou-se também um acréscimo na concentração de ferro nas folhas entre a primeira e segunda datas seguido de um decréscimo para a terceira data. Em termos globais, os valores mais baixos tenderam a surgir no tratamento SP.

Nas duas datas de amostragem de 2019 o tratamento fertilizado NPK registou as concentrações de ferro mais elevadas, respetivamente, 263 e 279 mg kg⁻¹. Por sua vez, o tratamento SP foi o que originou a menor concentração de ferro nas folhas nas duas datas, sendo os valores mais baixos que no tratamento não fertilizado.

Em 2020 foram registados valores de concentração de ferro nas folhas mais elevados que os de 2019. Sendo que nas segunda e terceira datas de amostragem de 2020 o tratamento não fertilizado registou os valores mais elevados, 485 e 457 mg kg⁻¹, respetivamente. Os valores mais elevados dentro dos tratamentos fertilizados na primeira, segunda e terceira datas de amostragem foram, respetivamente, 440, 449 e 397 mg kg⁻¹.

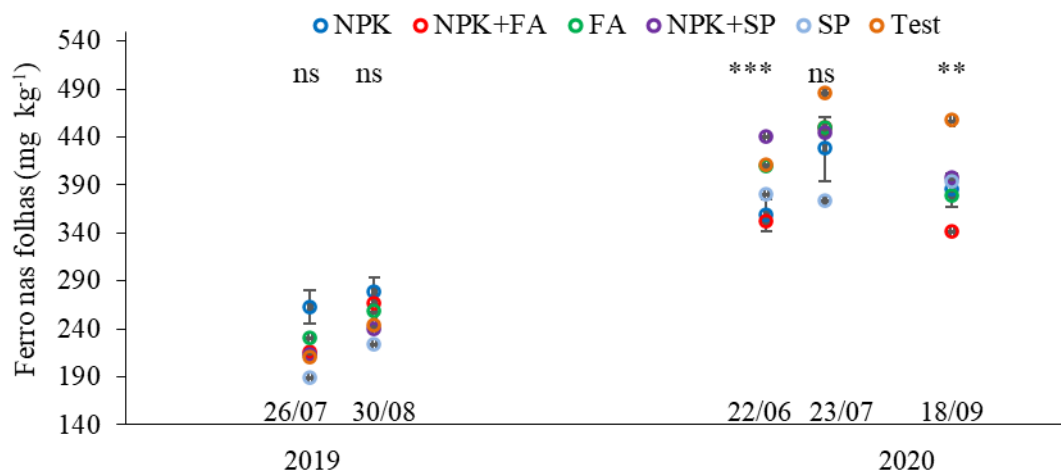


Figura 21. Concentração de ferro nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

Os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa a concentração de manganês nas folhas nas cinco datas analisadas (Figura 22). Entre os tratamentos fertilizados, os valores tendencialmente mais baixos surgiram em NPK, sendo por vezes inferiores à concentração do elemento no tratamento Test. Já os valores tendencialmente mais elevados surgiram nos tratamentos NPK+FA e NPK+ SP, cujos valores foram 921 e 910 mg kg⁻¹ e 911 e 844 mg kg⁻¹, respetivamente. As concentrações de manganês nas folhas da aveleira, nas duas datas de 2019, foram da mesma ordem de grandeza.

Em 2020 as concentrações de manganês nas folhas na primeira data de amostragem foram claramente mais baixas que em 2019. Ocorreu também um acréscimo nos valores da primeira para as segunda e terceira datas, sobretudo para a segunda. Os valores mais elevados da primeira, segunda e terceira datas de amostragem foram, respetivamente, 724, 878 e 857 mg kg⁻¹ e registaram-se no tratamento NPK+SP.

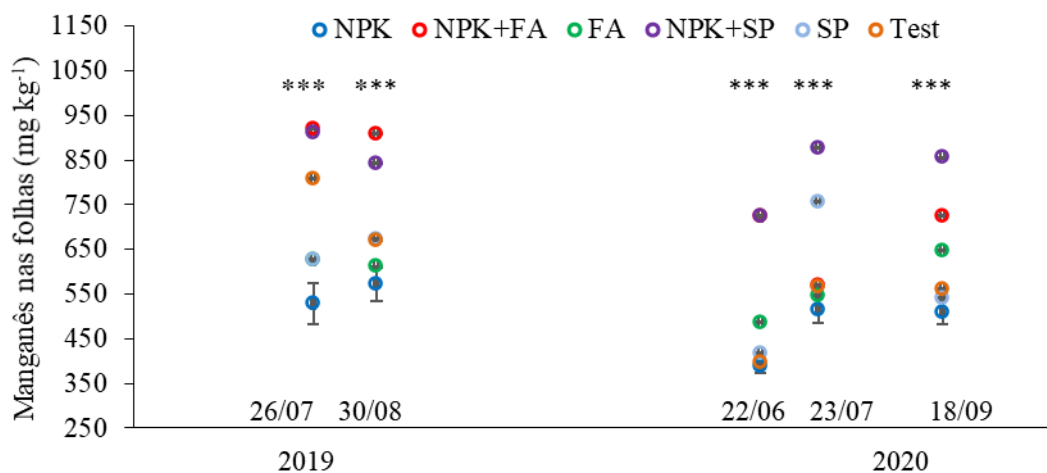


Figura 22. Concentração de manganês nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

Na figura 23 apresentam-se as concentrações de zinco nas folhas em função dos tratamentos e das datas de amostragem. As concentrações de zinco nas folhas, em quatro das cinco datas analisadas, foram influenciadas de forma significativa pelos tratamentos fertilizantes. De uma forma geral as médias da testemunha surgem na parte inferior do conjunto de dados. Entre os tratamentos fertilizados, os valores tendencialmente mais altos surgiram nos tratamentos NPK e NPK+FA. Quanto ao tratamento FA apresentou, de um geral, as concentrações mais baixas.

Os valores da concentração de zinco nas folhas no ano de 2019 foram claramente mais elevados que em 2020. Sendo que as concentrações das duas datas de 2019 apresentaram valores médios muito próximos. Em ambas as datas os tratamentos com valores mais elevados foram o NPK e NPK+FA, acima de 27 mg kg^{-1} . Como em 2020, o tratamento que registou concentrações de zinco nas folhas mais elevadas nas três datas foi o NPK, com valores acima de 17 mg kg^{-1} .

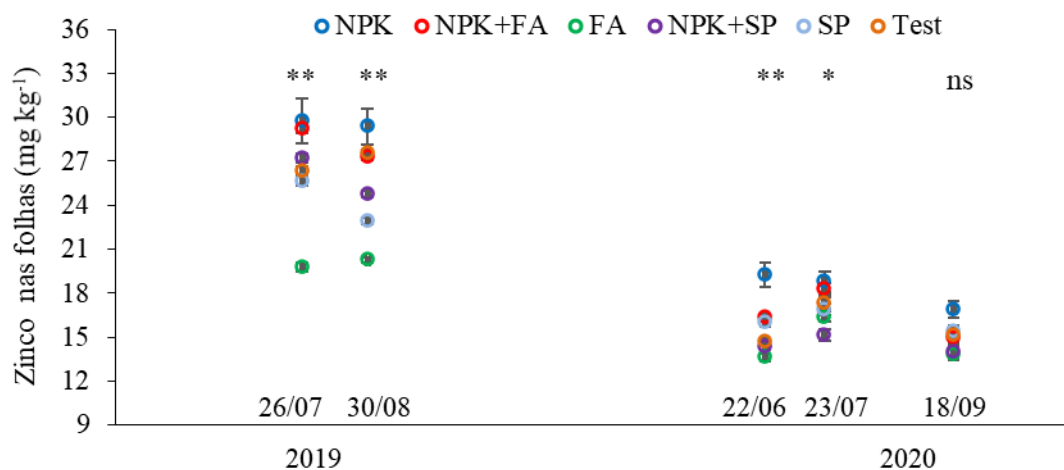


Figura 23. Concentração de zinco nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

A figura 24 mostra a concentração de cobre nas folhas. Pode verificar-se que os tratamentos fertilizantes influenciaram de forma significativa os resultados numa das cinco datas analisadas. Entre os tratamentos fertilizados, os valores tendencialmente mais baixos surgiram nos tratamentos NPK e NPK+FA, sendo por vezes inferiores aos valores observados na testemunha.

Em 2019 verificou-se um decréscimo na concentração de cobre nas folhas da primeira para a segunda datas de amostragem. Na primeira e segunda datas desse ano as concentrações mais elevadas dentro dos tratamentos fertilizados foram de 7,1 e 6,4 mg kg⁻¹, correspondendo aos tratamentos FA e NPK+SP, respetivamente.

Em 2020, nas duas primeiras datas o tratamento que registou a concentração mais elevada de cobre foi NPK, com 8,3 e 7,5 mg kg⁻¹. Na terceira data, o valor mais alto foi de 7,5 mg kg⁻¹ e registou-se no tratamento SP.

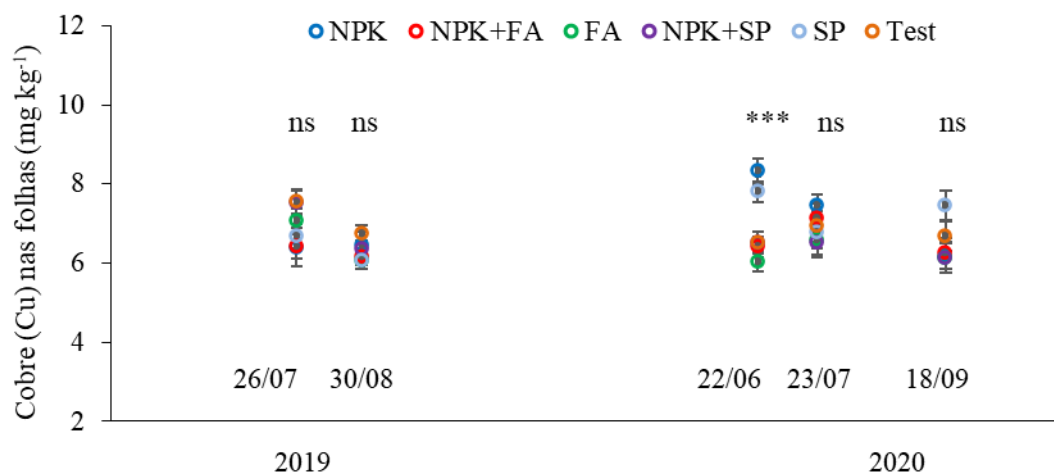


Figura 24. Concentração de cobre nas folhas em função da data de amostragem e dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). ns, diferenças não significativas e diferenças significativas para $*\alpha < 0,05$, $**\alpha < 0,01$ e $***\alpha < 0,001$. As barras de erro são o desvio padrão das médias.

4.2 – Concentração de nutrientes no fruto

4.2.1 – Concentração de nutrientes na casca

Na colheita 2019, a concentração de azoto na casca variou de forma significativa com os tratamentos (Quadro 7). O tratamento NPK+SP registou valores significativamente mais elevados do que os tratamentos SP e Test. Em 2020 não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos para o teor em azoto na casca.

Na concentração de fósforo na casca também ocorreram diferenças significativas na primeira colheita, mas não na segunda. Na colheita de 2019 foram registados valores particularmente baixos nos tratamentos FA e Test. Tal como para o azoto, o padrão não se manteve nos resultados de 2020.

Para potássio e magnésio não se registaram diferenças significativas entre tratamentos em qualquer das datas de amostragem. A concentração de potássio na casca foi tendencialmente mais elevada que a de qualquer outro macronutriente, variando entre

32,9 e 48,2 g kg⁻¹. Os valores de magnésio, considerando as duas colheitas, variaram entre 3,2 e 4,9 g kg⁻¹.

Os teores de cálcio na casca variaram de forma significativa entre tratamentos na segunda colheita. Nesta data, os valores mais baixos foram registados no tratamento NPK+FA (7,2 g kg⁻¹) e os mais elevados em Test (9,2 g kg⁻¹). Em 2019, não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos, tendo os valores médios variado entre 8,7 e 15,6 g kg⁻¹.

Quadro 7. Concentração de macronutrientes na casca de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). Nas colheitas de 2019 e 2020.

Ano	Tratamento	Azoto	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
		----- g kg ⁻¹ -----				
2019	NPK	25,5 ab	5,6 ab	34,3 a	10,8 a	3,6 a
	NPK+FA	26,2 ab	5,9 ab	32,9 a	8,9 a	3,4 a
	FA	27,6 ab	4,3 b	35,5 a	8,7 a	3,6 a
	NPK+SP	33,4 a	7,3 a	48,2 a	15,6 a	4,9 a
	SP	23,2 b	6,0 ab	37,0 a	13,0 a	4,1 a
	Test	23,5 b	4,7 b	31,5 a	11,1 a	3,2 a
2020	NPK	27,3 a	8,6 a	35,2 a	9,1 ab	3,9 a
	NPK+FA	28,2 a	7,5 a	34,6 a	7,2 b	3,4 a
	FA	30,7 a	8,9 a	37,8 a	8,3 ab	4,1 a
	NPK+SP	29,7 a	6,9 a	34,9 a	7,5 ab	3,96 a
	SP	32,2 a	6,5 a	38,3 a	9,2 a	4,40 a
	Test	32,6 a	8,7 a	35,0 a	9,2 a	4,67 a

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A concentração de boro na casca de avelã variou de forma significativa com os tratamentos nas duas amostragens (Quadro 8). Em 2019 os tratamentos fertilizados NPK, NPK+FA e SP registaram os valores de concentração mais baixos, 8,6, 8,9 e 10,9 mg kg⁻¹, respetivamente. Estes valores estão abaixo da concentração de boro na casca no tratamento Test, com 27,7 mg kg⁻¹. Já em 2020 o tratamento que registou o valor mais elevado foi FA seguido de SP respetivamente com 19,1 e 17,4 mg kg⁻¹. O tratamento NPK+SP obteve a concentração mais baixa seguido da Test, respetivamente com 13,0 e 14,7 mg kg⁻¹.

Em 2019 não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos na concentração de ferro na casca (Quadro 8). O tratamento NPK+SP apresentou concentrações bastante mais elevadas do que os restantes tratamentos. Já em 2020 verificaram-se diferenças significativas entre tratamentos, sendo que o tratamento que apresentou maior concentração de ferro na casca da avelã foi FA, com 70,1 mg kg⁻¹. O tratamento NPK+FA foi o que registou a concentração mais baixa, 39,2 mg kg⁻¹.

Nas duas colheitas a concentração de manganês na casca variou de forma significativa com os tratamentos (Quadro 8). Tanto no ano de 2019 como em 2020 o tratamento que registou a maior concentração de manganês foi NPK+SP, com 85,4 e 66,4 mg kg⁻¹, respetivamente. O tratamento que registou os menores valores em ambas as colheitas foi NPK 33,0 e 40,8 mg kg⁻¹, respetivamente. No tratamento não fertilizado observaram-se valores acima dos registados nos tratamentos NPK, FA na primeira colheita e NPK, FA, NPK+FA e SP na segunda colheita.

Para cobre e zinco não se registaram diferenças significativas entre tratamentos em qualquer uma das datas de amostragem (Quadro 8). A concentração de cobre nas cascas variou entre 1,1 e 3,8 mg kg⁻¹ se forem tidas em conta as duas amostragens. Já os valores de zinco considerando as duas colheitas variaram entre 6,6 e 10,6 mg kg⁻¹.

Quadro 8. Concentração de micronutrientes na casca de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). nas colheitas de 2019 e 2020.

Ano	Tratamento	Boro	Ferro	Manganês mg kg ⁻¹	Cobre	Zinco
2019	NPK	8,6 b	28,8 a	53,0 c	1,9 a	8,5 a
	NPK+FA	8,9 b	30,0 a	67,2 b	1,1 a	7,8 a
	FA	12,1 ab	28,0 a	58,1 bc	1,3 a	7,9 a
	NPK+SP	15,2 a	39,2 a	85,4 a	2,9 a	10,6 a
	SP	10,9 ab	27,5 a	71,7 ab	2,3 a	8,8 a
	Test	12,7 ab	28,2 a	62,8 bc	1,4 a	8,0 a
2020	NPK	15,3 b	59,4 abc	40,8 c	3,5 a	7,8 a
	NPK+FA	15,5 b	52,9 c	50,4 bc	2,6 a	6,6 a
	FA	19,1 a	70,1 a	49,9 bc	3,3 a	7,3 a
	NPK+SP	13,0 c	55,3 bc	66,4 a	2,3 a	6,9 a
	SP	17,4 a	66,8 ab	52,9 b	3,8 a	7,9 a
	Test	14,7 bc	68,2 ab	65,7 a	3,7 a	7,6 a

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4.2.2 – Concentração de nutrientes no miolo

No quadro 9 são apresentados os valores médios da concentração de macronutrientes no miolo de avelã, nas duas colheitas em 2019 e 2020.

Na colheita 2019, a concentração de azoto no miolo variou de forma significativa com os tratamentos. O tratamento NPK+FA registou o valor de concentração mais elevado, com 37,5 g kg⁻¹. O tratamento não fertilizado originou o valor mais baixo, seguido do tratamento SP. Em 2020 não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos na concentração de azoto no miolo. De qualquer forma, FA e NPK apresentaram valores médios mais elevados que os restantes tratamentos.

Nos casos de fósforo e potássio não ocorreram diferenças entre tratamentos em nenhuma data de colheita. Sendo que para o fósforo as concentrações mais elevadas em 2019 e 2020 foram de 5,0 e 3,8 g kg⁻¹, respetivamente, correspondendo aos tratamentos Test e NPK. Já para o potássio as concentrações mais elevadas foram registadas no tratamento NPK nas colheitas de 2019 e 2020.

Quanto ao cálcio ocorreram diferenças significativas entre tratamentos nas duas colheitas. Na colheita de 2019, o tratamento que registou a concentração mais elevada foi NPK, e os que registaram os valores mais baixos foram FA e SP, sendo estes inferiores à concentração no tratamento não fertilizado.

No caso do magnésio só se observaram diferenças significativas entre tratamentos em 2020. Em 2019 as concentrações de magnésio variam entre 1,5 e 2,1 g kg⁻¹. O tratamento NPK foi o que registou o valor mais elevado em 2020 e o tratamento FA apresentou o valor mais baixo desse ano.

Quadro 9. Concentração de macronutrientes no miolo de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). nas colheitas de 2019 e 2020.

Ano	Tratamento	Azoto	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
		----- g kg ⁻¹ -----				
2019	NPK	32,8 bc	4,0 a	11,4 a	1,1 ab	1,6 a
	NPK+FA	37,5 a	4,7 a	11,0 a	1,1 a	1,6 a
	FA	33,3 b	4,8 a	10,2 a	0,9 b	1,6 a
	NPK+SP	31,9 bc	4,7 a	9,9 a	1,0 ab	2,1 a
	SP	29,3 cd	4,1 a	9,5 a	0,9 b	1,5 a
	Test	27,7 d	5,0 a	10,6 a	1,0 ab	1,6 a
2020	NPK	36,9 a	3,8 a	13,6 a	1,0 a	1,8 a
	NPK+FA	34,9 a	3,4 a	10,8 a	1,0 ab	1,6 ab
	FA	37,1 a	3,2 a	9,4 a	0,8 b	1,5 b
	NPK+SP	35,3 a	3,2 a	10,4 a	0,9 ab	1,6 ab
	SP	33,7 a	3,8 a	11,6 a	0,9 ab	1,7 a
	Test	33,9 a	3,3 a	10,4 a	0,9 ab	1,6 ab

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No quadro 10 estão apresentados os valores médios da concentração de micronutrientes no miolo de avelã, nas duas colheitas em 2019 e 2020.

Em 2020 os tratamentos influenciaram de forma significativa a concentração de boro no miolo, o que não aconteceu na segunda colheita. Em 2019 o tratamento FA (30 mg kg⁻¹) apresentou a concentração de boro mais elevada. Todos os outros tratamentos registaram valores muito próximos. Na colheita de 2020 os valores variaram entre 24,3 e 28,3 mg kg⁻¹.

Para os teores de ferro e cobre no miolo não se verificaram diferenças significativas entre tratamentos em qualquer das datas de amostragem. A concentração de ferro no miolo variou entre 47,4 e 62,6 mg kg⁻¹. Já os valores de cobre, considerando as duas colheitas, variaram entre 24,3 e 31,6 mg kg⁻¹.

Nas duas datas de colheitas a concentração de manganês no miolo variou de forma significativa com os tratamentos. No ano de 2019, o tratamento que originou maior concentração do elemento foi NPK+FA seguido de NPK+SP, com os valores médios de 102,6 e 100,5 mg kg⁻¹. O tratamento NPK originou o resultado mais baixo, sendo que a concentração neste tratamento foi inferior ao tratamento não fertilizado. Em 2020 os

tratamentos que registraram os valores mais elevados de manganês no miolo foram NPK+SP e NPK+FA.

Quanto ao zinco foram observadas diferenças significativas apenas em 2019. Sendo que nesse ano o tratamento FA registou a concentração mais elevada, com 21,4 mg kg⁻¹. Já o tratamento NPK + FA registou o valor mais baixo 22,1 mg kg⁻¹. Apesar de em 2020 não terem ocorrido diferenças significativas entre tratamentos, os teores médios de zinco no miolo variaram entre 18,8 e 24,2 mg kg⁻¹.

Quadro 10. Concentração de micronutrientes no miolo de avelã em função do tratamento fertilizante (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada). nas colheitas de 2019 e 2020.

Ano	Tratamento	Boro	Ferro	Manganês	Cobre	Zinco
		----- g kg ⁻¹ -----				
2019	NPK	25,4 b	62,6 a	59,1 b	29,7 a	24,8 ab
	NPK+FA	25,6 b	57,6 a	102,6 a	29,5 a	22,1 b
	FA	30,0 a	51,3 a	79,5 ab	26,4 a	27,4 a
	NPK+SP	24,5 b	56,2 a	100,5 a	31,6 a	25,5 ab
	SP	26,2 b	55,7 a	83,6 ab	28,8 a	25,5 ab
	Test	25,4 b	49,6 a	74,4 ab	27,6 a	25,3 ab
2020	NPK	25,3 a	58,0 a	64,0 b	29,6 a	24,2 a
	NPK+FA	24,7 a	52,1 a	91,3 ab	27,1 a	21,5 a
	FA	28,3 a	51,7 a	83,9 b	27,1 a	21,7 a
	NPK+SP	24,3 a	48,3 a	114,5 a	24,3 a	20,6 a
	SP	25,9 a	47,4 a	78,8 b	24,5 a	21,3 a
	Test	25,9 a	50,9 a	69,6 a	26,0 a	18,8 a

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3 – Propriedades do solo

Relativamente ao carbono orgânico no solo não se verificaram diferenças significativas entre tratamentos. Contudo os valores médios variaram ente 14 e 18 g kg⁻¹, sendo que o tratamento SP deu origem aos teores de carbono orgânico mais, seguido de Test e FA (Quadro 11).

O pH variou de forma significativa entre tratamentos, quando determinado em água ou em KCl. Os tratamentos Test e SP originaram os valores mais elevados de pH

determinado por qualquer um dos métodos. Os valores de pH mais baixos foram encontrados no tratamento NPK (Quadro 11).

Os tratamentos não influenciaram de forma significativa os teores de fósforo e potássio extraíveis. Ainda assim, o tratamento NPK+SP registou o valor médio mais elevada de fósforo com 101 mg kg⁻¹. No caso do potássio foi no tratamento SP onde se registou o valor médio mais elevado com 164 mg kg⁻¹. Os teores mais baixos de fósforo e potássio foram registados em FA e NPK+FA respetivamente.

Quadro 11. Teores de carbono (C) orgânico, pH(H₂O), pH (KCl) e fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) extraíveis em amostras de solo colhidas em 2020 na camada 0,0-0,2 m em função dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada).

Tratamento	C orgânico g kg ⁻¹	pH		P ₂ O ₅ ----- mg kg ⁻¹ -----	K ₂ O
		H ₂ O	KCl		
NPK	18 a	5,3 c	4,6 d	89 a	156 a
NPK+FA	16 a	5,6 c	4,8 d	90 a	143 a
FA	15 a	6,1 ab	5,4 b	36 a	163 a
NPK+SP	17 a	6,0 b	5,1 c	101 a	149 a
SP	14 a	6,4 a	5,5 ab	51 a	164 a
Test	15 a	6,4 a	5,6 a	54 a	165 a

*Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No quadro 12 são apresentados os teores no solo dos catiões troca (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺) e a capacidade de troca cationica (CTC). Os valores de potássio e sódio apresentam diferenças significativas entre tratamentos. O valor mais elevado de CTC foi registado no tratamento NPK e o valor mais baixo foi registado no tratamento NPK+SP.

Entre os catiões trocáveis, o cálcio foi o que registou valores mais elevados, seguido de magnésio e potássio. Os valores no cálcio variam entre 4,3 e 5,3 cmol_c kg⁻¹, os de magnésio entre 2,4 e 2,8 cmol_c kg⁻¹, os de potássio entre 0,9 e 1,5 cmol_c kg⁻¹ e os de sódio entre 0,5 e 0,9 cmol_c kg⁻¹.

Quadro 12. Bases do complexo de troca e capacidade de troca catiónica (CTC) em amostras de solo colhidas em 2020 na camada 0,0-0,2 m em função dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada).

Tratamento	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	CTC
	----- cmol _c kg ⁻¹ -----				
NPK	4,8 a	2,4 a	1,2 ab	0,9 a	9,5 a
NPK+FA	5,3 a	2,5 a	0,9 b	0,5 b	9,2 a
FA	4,5 a	2,8 a	1,0 ab	0,6 b	9,2 a
NPK+SP	4,3 a	2,5 a	1,0 ab	0,5 b	8,1 a
SP	4,6 a	2,7 a	1,1 ab	0,6 b	9,2 a
Test	5,1 a	2,8 a	1,5 a	0,5 b	10,1 a

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os tratamentos fertilizantes não influenciaram de forma significativa a concentração de nenhum dos micronutrientes analisados (Quadro 13). No caso dos teores de boro no solo registaram-se os valores médios mais elevados no tratamento SP e os mais baixos no tratamento NPK+SP. Os valores de cobre variaram entre 2,2 e 3,8 mg kg⁻¹ e os de zinco entre 2,6 e 3,8 mg kg⁻¹. O tratamento NPK registou o valor mais elevado de ferro, com 116 mg kg⁻¹, sendo que o valor mais baixo foi registado no tratamento SP (79 mg kg⁻¹). No caso no manganês, os valores variaram entre 105 e 148 mg kg⁻¹.

Quadro 13. Concentração de micronutrientes em amostras de solo colhidas em 2020 na camada 0,0-0,2 m em função dos tratamentos fertilizantes (NPK, adubação com azoto, fósforo e potássio; NPK+FA, NPK suplementado com fitoalgas; FA; NPK+SP, NPK suplementado com Sprint Plus; SP; Test, testemunha não fertilizada).

Tratamento	Boro	Cobre	Zinco	Ferro	Manganês
	----- mg kg ⁻¹ -----				
NPK	7,4 a	2,9 a	3,8 a	116 a	105 a
NPK+FA	5,8 a	3,8 a	3,0 a	115 a	122 a
FA	7,9 a	2,2 a	2,7 a	84 a	114 a
NPK+SP	5,1 a	2,3 a	3,3 a	82 a	119 a
SP	8,6 a	2,7 a	2,9 a	79 a	124 a
Test	7,2 a	3,1 a	2,6 a	85 a	148 a

* Valores com a mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A testemunha tendeu a mostrar valores de azoto nas folhas mais baixos, em algumas datas com diferenças significativas para as modalidades fertilizadas, por vezes acompanhada do tratamento SP. As amostras de cascas de avelã mostraram a mesma tendência, que se acentuou quando se analisaram os dados do miolo. A testemunha, não tendo recebido azoto, foi mostrando teores do nutriente nos tecidos mais baixos. Um efeito esperado da adubação azotada é o aumento do teor do nutriente nos tecidos das plantas (Arrobas et al., 2019; Rodrigues et al., 2019; Ferreira et al., 2020). A aplicação do extrato de algas marinhas parece ter tido alguma capacidade em manter em bom nível o teor de azoto nas folhas. Com o uso destes produtos aplicam-se quantidades irrisórias de macronutrientes. Contudo, eles podem beneficiar a eficiência de uso dos nutrientes pela melhoria de processos fisiológicos na planta, incluindo a tolerância a stresses abióticos (Shukla et al., 2019; Jardim et al., 2020; Goñi et al., 2020; Rouphael e Colla, 2020).

A concentração de azoto nas folhas decresceu de forma marcada ao longo da estação de crescimento. Este comportamento é típico do azoto e deve-se a fenómenos de diluição, devido à expansão da parte aérea e à remobilização de nutrientes para os frutos (Jarrel e Beverly, 1981; Arrobas et al., 2018). Isto é, à medida que a estação de crescimento avança, o azoto disponível no solo reduz-se, devido à absorção radicular contínua, e a área foliar aumenta, o que contribui para o efeito de diluição. Por outro lado, quando surgem os frutos estes são os tecidos da planta prioritários para a canalização dos fotoassimilados (Engels et al., 2012). Os compostos azotados são importantes no crescimento dos frutos de avelã uma vez que estes apresentam teores elevados em proteína (Correia et al., 2017).

Para a concentração de fósforo nas folhas foi difícil detetar um padrão quando se tentaram comparar os resultados dos tratamentos, ainda que por vezes tenham surgido diferenças significativas entre tratamentos. Nas cascas também não se registou qualquer padrão entre colheitas e nas amostras de miolo os teores de fósforo não variaram de forma significativa. No solo também não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos nos valores de fósforo extraíveis, ainda que as médias dos tratamentos com NPK tenham sido mais elevadas que as dos tratamentos sem aplicação de fósforo. Ainda que os solos da região surjam por vezes com teores baixos de fósforo quando o nutriente é extraído

pelo método Egner-Riehm, tem sido difícil encontrar resposta à aplicação do nutriente em ensaios de campo (Ferreira et al., 2018a; Rodrigues et al., 2020; Arrobas et al., 2021) e mesmo em ensaios em vasos (Afonso et al., 2018; Arrobas et al., 2018; Ferreira et al., 2018a; Rodrigues et al., 2018), onde se esperaria uma mais rápida exaustão das formas solúveis do nutriente. Por outro lado, as árvores estão normalmente micorrizadas (Miransari, 2013; Lanfranco et al., 2016). Dos diversos efeitos benéficos atribuídos à associação dos fungos micorrízicos com as plantas destaca-se a capacidade destes em fornecer fósforo (Ptiyadharsini et al., 2017; Ortas e Bykova, 2018; Lopes et al., 2020; Rodrigues et al., 2021), sendo esta considerada também uma razão importante para os resultados observados sem diferenças claras entre tratamentos.

Os valores de potássio nas folhas mostraram tendência para se apresentarem mais baixos na testemunha, por vezes com diferenças significativas para as modalidades fertilizadas. Contudo, nas cascas, no miolo e no solo não foram registadas diferenças significativas entre tratamentos. Os solos da região são normalmente bem providos em potássio e tem sido também difícil obter resposta positiva ao potássio em experiências em campo e em vasos (Afonso et al., 2018; Arrobas et al., 2018; Ferreira et al., 2018a; 2018b). As dificuldades acrescidas em detetar diferenças nos frutos devem-se ao facto destes tecidos serem locais preferenciais de acumulação de potássio, pelo que decréscimo nos valores de potássio só ocorrerá em situação de limitação evidente no fornecimento do nutriente.

Os teores de potássio nas folhas mostraram um forte decréscimo ao longo da estação de crescimento. O potássio decresce nas folhas ao longo da estação de crescimento devido a um efeito de diluição, tal como referido para o azoto. À medida que a estação de crescimento avança aumenta a área foliar, começando os tecidos a mostrar concentrações mais baixas de potássio devido ao fenómeno de diluição. Por outro lado, a redução da humidade do solo dificulta o movimento do potássio no solo por difusão, devido à tortuosidade do percurso e por fluxo de massa, devido à redução da transpiração das plantas, pelo que se reduz a absorção do nutriente (Weil e Brady, 2017). Por último, os frutos concentram grande quantidade de potássio que é remobilizado das folhas, reduzindo-se nestas a concentração do nutriente (Rodrigues et al., 2012; Arrobas et al., 2014).

Os teores de cálcio e magnésio nas folhas mostraram, por vezes, diferenças significativas entre tratamentos, mas o padrão não se repetiu entre datas de amostragem. Faltou também uma tendência clara entre tratamentos quando se observaram as

concentrações destes macronutrientes nas cascas, no miolo e nas amostras de solos. Cálcio e magnésio não foram usados como tratamentos, embora o fertilizante NPK tenha sempre teores, ainda que baixos, destes nutrientes. Contudo, isso parece não ter sido suficiente para se registarem diferenças consistentes na concentração destes macronutrientes nos tecidos. Cálcio e magnésio são macronutrientes importantes na nutrição das plantas (Santos, 2015; Weil e Brady, 2017) e em particular nesta região em que tendencialmente os solos ácidos (Arrobas et al., 2017; 2018), embora neste pomar a acidez seja moderada.

Os teores de cálcio nas folhas mostraram um aumento de concentração muito evidente ao longo da estação de crescimento. Na planta o cálcio encontra-se maioritariamente associado às paredes e membranas celulares, sendo pouco móvel na planta (Hawkesford et al., 2012; Havlin et al., 2014). Esta imobilidade faz com que se concentre à medida que outros nutrientes móveis são remobilizados para frutos e outras partes da planta em crescimento.

A comparação entre tratamentos também não revelou uma tendência clara na concentração de boro nas folhas, tendo-se observado o mesmo com os resultados das análises da casca e do miolo dos frutos e com os teores de boro no solo. O boro é um elemento muito importante nos programas de fertilização das dicotiledóneas na região (Arrobas et al., 2010, 2019; Rodrigues et al., 2011; Portela et al., 2012; Ferreira et al., 2019). Contudo, neste estudo, o nutriente foi aplicado como fertilização base à razão de 2 kg ha⁻¹. Assim, nestas condições, o efeito da fertilização com boro sobrepôs-se a algum efeito eventual que pudesse ocorrer em resultado dos diferentes tratamentos. Ainda que o uso de extratos de algas e aminoácidos possa melhorar a eficiência de uso dos nutrientes, em publicações recentes benefícios nas plantas da melhor nutrição em boro das plantas não têm sido reportados (Taskos et al., 2019; Afonso et al., 2021a,b).

Os resultados da concentração dos micronutrientes catiões nos tecidos vegetais e no solo foram também pouco conclusivos. A concentração de ferro nas folhas mostrou diferenças acentuadas entre datas de amostragem, tendo-se a tendência mantido na concentração de ferro nas cascas. No miolo os valores foram mais estáveis. O zinco manteve um pouco a tendência do ferro, embora com diferenças entre datas menos acentuadas e o manganês e o cobre não mostraram qualquer tendência consistente comparando tratamentos ou datas de amostragem. A disponibilidade destes micronutrientes no solo está sobretudo dependente das condições de oxidação/redução e do pH (Havlin et al., 2014; Afonso et al., 2020). Ainda que as condições de crescimento

das plantas tenham sido similares entre todos os tratamentos, podem ocorrer sempre flutuações espaciais ou temporais, como foi observado para o ferro. De qualquer forma, as diferenças detetadas na concentração destes nutrientes nos tecidos estiveram dentro da gama de concentrações adequadas (Bryson et al., 2014) e terão tido pouco significado para a experiência.

6 – Conclusões

A modalidade testemunha mostrou concentrações de azoto nos tecidos mais baixas que as modalidades que receberam NPK, devido ao fornecimento de azoto através da aplicação do fertilizante e à limitação natural do elemento no solo. Contudo, o extrato de algas marinhas manteve níveis elevados de azoto nas folhas, talvez por ter estimulado a eficiência de uso do nutriente a partir do solo.

Os valores de potássio nas folhas também se revelaram tendencialmente mais elevados nos tratamentos com NPK, embora nos frutos, locais preferenciais de acumulação do nutriente, não tenham ocorrido diferenças significativas.

As concentrações de azoto e potássio nas folhas decresceu de forma marcada com a estação de crescimento, devido a efeitos de diluição com a expansão da parte aérea e a concentração dos elementos nos frutos, tendo também em conta a mobilidade dos nutrientes na planta.

Relativamente ao fósforo e aos outros nutrientes, não se registou uma tendência clara entre tratamentos na sua concentração nos tecidos.

As propriedades do solo também variaram pouco entre tratamentos, embora o pH tenha decrescido nos tratamentos fertilizados com NPK, talvez devido à nitrificação da fração amoniacal do fertilizante.

7 – Referências

- Adeli, A., Dabney, S. M., Tewolde, H., Jenkins, J. N. 2017. Effects of tillage and broiler litter on crop productions in an eroded soil. *Soil & Tillage Research* 165:198– 209. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.08.010>
- Afonso, S., Arrobas, M., Ferreira, I.Q., Rodrigues, M.A. 2018. Leaf nutrient concentration standards for lemon verbena (*Aloysia citrodora* Paláu) obtained from field and pot fertilization experiments. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 8: 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.09.004>

- Afonso, S., Arrobas, M., Rodrigues, M.A. 2020. Soil and plant analyses to diagnose hop fields irregular growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 20:1999–2013. DOI: 10.1007/s42729-020-00270-6
- Afonso, S., Arrobas, M., Rodrigues, M.Â. 2021b. Response of hops to algae-based and nutrient-rich foliar sprays. *Agriculture* 2021, 11:798. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080798>
- Afonso, S., Arrobas, M., Sá Morais, J. Rodrigues, M.A. 2021a. Hop dry matter yield and cone quality responses to amino acid and potassium-rich foliar spray applications. *Journal of Plant Nutrition* 44:14, 2042-2056. DOI: 10.1080/01904167.2021.1889597
- Agustí, M. 2010. *Fruticultura*. 2ª edição, Ediciones Mundi-Presa, Madrid
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A. 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal* 68:1945-1962. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945>
- Arrobas, M., Afonso S., Rodrigues M.A. 2018. Diagnosing the nutritional condition of chestnut groves by soil and leaf analyses. *Scientia Horticulturae*. 228:113-121. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.027>
- Arrobas, M., Afonso, S., Ferreira, I.Q., Moutinho-Pereira J.M., Correia, C.M., Rodrigues, M.A. 2017. Liming and application of nitrogen, phosphorus, potassium and boron on a young plantation of Chestnut. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 41:441-451. doi:10.3906/tar-1705-79.
- Arrobas, M., Afonso, S., Rodrigues, M.A. 2018. Diagnosing the nutritional condition of chestnut groves by soil and leaf analyses. *Scientia Horticulturae* 228:113–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.027>.
- Arrobas, M., Decker, J.V., Feix, B.L., Godoy, W.I., Casali, C.A., Correia, C.M., Rodrigues, M.A. 2021. Biochar and zeolites did not improve phosphorus uptake or crop productivity in a field trial performed in an irrigated intensive farming system. *Soil Use and Management* 00:1–12. <https://doi.org/10.1111/sum.12704>
- Arrobas, M., Ferreira, I.Q. Afonso, S. Rodrigues, M.A. 2018. Sufficiency ranges and crop nutrient removals for peppermint (*Mentha x piperita* L.) established from field and pot fertilizer experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49(14): 1719-1730. DOI:10.1080/00103624.2018.1474909
- Arrobas, M., Ferreira, I.Q., Afonso, S., Rodrigues, M.A. 2018. Sufficiency ranges and crop nutrient removals for peppermint (*Mentha x piperita* L.) established from field and pot fertilizer experiments. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49:1719–1730, DOI:10.1080/00103624.2018.1474909.
- Arrobas, M., Ferreira, I.Q., Freitas, S., Verdial, J., Rodrigues, M.A. 2014. Guidelines for fertilizer use in vineyards based on nutrient content of grapevine parts. *Scientia Horticulturae* 172: 191-198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.04.016>
- Arrobas, M., Lopes, J.I., Pavão, F., Cabanas, J. E., Rodrigues, M.A. 2010. Comparative boron nutritional diagnosis for olive based on July and January leaf samplings. *Communications in Soil Science and Plant Anal.* 41: 709-720.
- Arrobas, M., Santos, D., Ribeiro, A., Pereira, E., Rodrigues, M.A. 2019. Soil and foliar nitrogen and boron fertilization of almond trees grown under rainfed conditions.

- European Journal of Agronomy 106: 39–48.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.014>
- Arrobas, M., Santos, D., Ribeiro, A., Pereira, E., Rodrigues, M.A. 2019. Soil and foliar nitrogen and boron fertilization of almond trees grown under rainfed conditions. *European Journal of Agronomy* 106: 39–48.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.014>
- Battacharyya, D., Babgohari, M.Z., Rathor, P., Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Science Horticulturae* 196, 39–48.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- Blanca, G., Cabezudo, B., Cueto, M., Fernoudonternat, C. e Morales Torres, C. 2009. Flora Vasculare de Andalucía Oriental. Volumen 3: Rosaceae–Lentibulariaceae. Consejersc de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- Bloem, J., Hopkins, D. W., Benedetti, A. 2006. Microbiological methods for assessing soil quality. CAB international. London, UK. 307.
- Bortolini, D., Cassol, L. C., Piva, J. T., Bosi, C., Rocha, K. F. 2016. Surface applied lime dynamics and base saturation index in a consolidated no-tillage area. *Comunicata Scientiae, Bom Jesus*, 7: 473-485. <https://doi.org/10.14295/cs.v7i4.1530>
- Bryson, G., Mills, H. A., Sasseville, D. N., Jones, J. B. Jr, & Barker, A. V. 2014. Plant analysis handbook III. A guide to sampling, preparation, analysis and interpretation for agronomic and horticultural crops. Micro-Macro Publishing Inc.
- Buono, D. 2021. Can biostimulants be used to mitigate the effect of anthropogenic climate change on agriculture? It is time to respond. *Science of The Total Environment*. 751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141763>
- Buthelezi, N. M. D., Tesfay, S.Z., Ncama, K., Magwaza, L.S. 2019. Destructive and non-destructive techniques used for quality evaluation of nuts: A review. *Scientia Horticulturae South Africa* 247: 138–146.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.008>
- Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J.W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plantar Solo* 383: 3-4. Doi 10.1007/s11104-014-2131-8
- Colla, G., Roupheal, Y. 2015. Biostimulants in horticulture. *Science Horticulturae* 196, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>
- Correia, P.M.R., Lima, M.J., Guiné, R.P.F. 2017. Aveleira: estado da transformação. Centro Nacional de Competências para os Frutos Secos (CNCFS), Bragança.
- Doran, J.W., Zeiss, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15:3-11.
[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
- Doran, J. W. e Parkin, T. B. 1994. Defining and assessing soil quality. In D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, B. A. Stewart, J. W. Doran, & T. B. Parkin (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, EUA: Soil Science Society of America. 1st ed., 3–22. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- du Jardin, P., Xu, L., Geelen, D. 2020. Agricultural functions and action mechanisms of plant biostimulants (PBs): An introduction. In: Geelen D, Xu L (eds). *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*. Wiley, NJ, USA, 3-29.

- du Jardin, P. 2015. Plantar bioestimulantes: Definition, concept, main categories and regulation. *Science Horticulturae* 196:3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Engels, C., Kirkby, E., White, P. 2012. Mineral nutrition, yield and source-sink relationship. In: Marschner, P. (ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier, London, UK, 85-133.
- Ferreira, I.Q., Arrobas, M., Moutinho-Pereira, J.M., Correia, C., Rodrigues, M.A. 2018b. Olive response to potassium applications under different water regimes and cultivars. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 112: 387-401. Doi:10.1007/s10705-018-9954-2.
- Ferreira, I.Q., Arrobas, M., Moutinho-Pereira, J.M., Correia, C.M., Rodrigues, M.A. 2020. The effect of nitrogen applications on the growth of young olive trees and nitrogen use efficiency. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 44: 278-289. DOI: 10.3906/tar-1905-26
- Ferreira, I.Q., Rodrigues, M.A., Arrobas, M. 2019. Soil and foliar applied boron in olive: tree crop growth and yield, and boron remobilization within plant tissue. *Spanish Journal of Agricultural Research* 17 (1), e0901. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019171-13796>
- Ferreira, I.Q., Rodrigues, M.A., Moutinho-Pereira, J.M., Correia, C., Arrobas, M. 2018a. Olive tree response to applied phosphorus in field and pot experiments. *Scientia Horticulturae*. *Scientia Horticulturae* 234:236–244. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.050>
- Fideghelli, C., De Salvador, F.R. 2009. World hazelnut situation and perspectives. *Acta Horticulturae* 845:39–52. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.845.2>
- Gamaliel, L.S. 2004. El cultivo del avellano (*Corylus avellana*). Fundacion para la Innovacion Agraria., Ministerio de Agricultura, Chile.
- Gardi, C., Tomaselli, M., Parisi, V., Petraglia, A e Santini C. 2002. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. *European Journal of Soil Biology* 38: 103-110. Doi: 10.1016 / s1164-5563 (01) 01111-6
- Goñi, O., Quille, P., O'Connell, S. 2020. Seaweed Carbohydrates. In: Geelen D, Xu L (eds). *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*. Wiley, NJ, USA, 57-94.
- Hadwiger, L.A. 2013. Multiple effects of chitosan on plant systems: Solid science or hype. *Plant Science*, 208:42–49. DOI: 10.1016 / j.plantsci.2013.03.007
- Hansen, J. W. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? *Agricultural Systems*, 50(1): 117–143. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(95\)00011-S](https://doi.org/10.1016/0308-521X(95)00011-S)
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. 2014. *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson, Boston, USA.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager, M., White, P. 2012. Function of macronutrients. In: Marschner P, editor. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. London, UK: Elsevier, 135-189.
- Iriti, M., Picchi, V., Rossoni, M., Gomarasca, L. N., Gargano, M., Faoro, F. 2009. Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure. *Environmental and Experimental Botany*, 66(3):493–500. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.01.004>

- Jarrel, W.M., Beverly, R.B. 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy* 34:197–224.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., e Schuman, G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61(1):4–10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- Keesstra, S.D., Bouma, J., Wallinga, J., Tiftonell, P., Smith, P., Cerdà, A., Montanarella, L., Quinton, J.N., Pachepsky, Y., Van der Putten, W.H., Bardgett, R.D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., Fresco, L.O. 2016. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil* 2, 111–128. <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>
- Lanfranco, L., Bonfante, P., Genre, A. 2016. The mutualistic interaction between plants and arbuscular mycorrhizal fungi. *Microbiology Spectrum* 4(6):1–20 <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0012-2016>
- Li, J., Ramirez, G. H., Kiani, M., Quideau, S., Smit, E., Janzen, H. 2018. Francis Larney, and Dick PuurveenLi Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects. *Canadian Journal of Soil Science* 98:232–245.
- Lopes, J.I., Arrobas, M., Brito, C., Gonçalves, A., Silva, E., Martins, S., Raimundo, S., Rodrigues, M.A., Correia, C.M. 2020. Mycorrhizal fungi were more effective than zeolites in increasing the growth of non-irrigated young olive trees planted in an acidic soil. *Sustainability*, 12, 10630, doi:10.3390/su122410630
- Miransari, M. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi and uptake of nutrients. In: Aroca, R. (ed) *Symbiotic endophytes*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 253-270
- Olsen, J., Peachey, E., Pscheidt, J. W., Walton, V. e Smith, D. 2013. *Growing Hazelnuts in the Pacific Northwest*. Oregon State University Extension Service, Corvallis, Oregon.
- Ortas, I., Bykova, A. 2018. The effect of mycorrhiza inoculation and phosphorus application on phosphorus efficiency of wheat plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49:1199–1207 <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1455849>
- Portela, E.M., Louzada, J.L. 2012. Early diagnosis of boron deficiency in chestnut. *Journal of Plant Nutrition* 35:304 10. doi:10.1080/01904167.2012.636132.
- Priyadharsini, P., Muthukumar, T. 2017. Arbuscular mycorrhizal fungus influence maize root growth and architecture in rock phosphate amended tropical soil. *Anales de Biologia* 39:211-222. DOI: <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.39.22>
- Quinteiro, P., Rafael, S., Vicente, B., Marta-Almeida, M., Rocha, A., Arroja, L., Dias, A.C. 2019. Mapping green water scarcity under climate change: A case study of Portugal. *Science of the Total Environment*, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134024
- Reetz, H.F. 2017. *Fertilizantes e o seu uso eficiente*. International Fertilizer Industry Association, Paris.
- Reganold, J. P., Glover, J. D., Andrews, P. K., & Hinman, H. R. 2001. Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410: 926–930. DOI: 10.1038 / 35073574

- Reijntjes, C., Haverkort, B., Waters-Bayer, A. 1992. Farming for the future: an introduction to low-external input and sustainable agriculture. London: The Macmillan Press.
- Rodrigues, M.A., Coelho, V., Arrobas, M., Gouveia, E., Raimundo, S., Correia, C., Bento, A. 2019. The effect of nitrogen fertilization on the incidence of olive fruit fly, olive leaf spot and olive anthracnose in two olive cultivars grown in rainfed conditions. *Scientia Horticulturae* 256:00-00. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108658>
- Rodrigues, M.A., Ferreira, I.Q., Afonso, S., Arrobas, M. 2018. Sufficiency ranges and nutrient removals in lemon balm based on crop response to applied nitrogen, phosphorus, potassium and boron. *Journal of Plant Nutrition* 41 (8):996-1008. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431671>.
- Rodrigues, M.A., Ferreira, I.Q., Claro, A.M., Arrobas, M. 2012. Fertiliser recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. *Scientia Horticulturae* 142: 205-211.
- Rodrigues, M.A., Pavão, F., Lopes, J.I., Gomes, V., Arrobas, M., Moutinho-Pereira, J., Ruivo, S., Cabanas, J.E., Correia, C.M. 2011. Olive yields and tree nutritional status during a four year period without nitrogen and boron fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42 (7): 803 - 814.
- Rodrigues, M.A., Piroli, L.B., Forcelini, D., Raimundo, S., Domingues, L.S., Cassol, L.C., Correia, C.M., Arrobas, M. 2021. Use of commercial mycorrhizal fungi in stress-free growing conditions of potted olive cuttings. *Science Horticulturae* 275:109712. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109712>
- Rodrigues, M.A., Raimundo, S., Pereira, A., Arrobas, M. 2020. Large chestnut trees (*Castanea sativa*) respond poorly to liming and fertilizer application. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. (<https://doi.org/10.1007/s42729-020-00210-4>).
- Rosa, M.T., Patti, A.F., Pouco, K.R., Castanho, A.L., Jackson, W.R., Cavagnaro, T.R., 2014. Chapter Two - A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy*. 124:37–89.
- Rouphael, Y., Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. *Front Plant Sci* p. 11.
- Santos, J. Q. 2015. Fertilização: Fundamentos agroambientais da utilização dos adubos e corretivos. Publindústria, edições técnicas, Porto.
- Shukla, P.S., Mantin, E.G., Adil, M., Bajpai, S., Critchley, A.T., Prithviraj, B. 2019. *Ascophyllum nodosum*-based biostimulants: Sustainable applications in agriculture for the stimulation of plant growth, stress tolerance, and disease management. *Frontiers in Plant Science* 10: 655.
- Silva, A.P., Santos, F., Santos, A., Sousa, V., Lopes, A.L., Assunção, A., Mota, B., Carvalho, J.L., Borges, O., Ribeiro, R., Santos, T. 2003. A avelã. João Azevedo Editor, Mirandela.
- Silva, A.P., Santos, F.A., Santos, A.S., Sousa, V.S., Lopes, A.D., Assunção, A.V., Leme, P., Carvalho, J., Borges, O., Ribeiro, R., Fernandes, T., Dias, R., Aguiar, F.B. 2005. A avelã. Viséu, Projeto AGRO 162, Universidade de Trás – os – Montes e Alto Douro, Tipografia Guerra, Viséu.

- Taskos, D., Stamatiadis, S., Yvin, J.-C., Jamois, F. 2019. Effects of an *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. extract on grapevine yield and berry composition of a Merlot vineyard. *Science Horticulturae* 250: 27–32. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.02.030
- Tiessen, H., Stewart, J.W., Anderson, D.W. 1994. Determinants of resilience in soil nutrient dynamics. In: Greenland, D.J., Szabolcs I. (Eds.), *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. 157–170.
- Wanjiku, J., Bohne, H. 2016. Late frost reactions of different populations of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *European Journal of Horticultural Science* 81(1): 3-12. DOI: 10.17660
- Weil, R.R., Brady, N.C. 2017. *The nature and properties of soils*. 15th edition, Pearson, London, England.
- Yague, J.L.F. (1994). *El Suelo y los Fertilizantes*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. 4^a edición. Ediciones Mundi-Prensa.