



## **Efeito de uma micorriza comercial na biodisponibilidade de nutrientes no solo e crescimento de plantas jovens de oliveira**

**Valkiria Luísa Borsa Piroli**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

Orientado por

**Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues**

**Coorientadores**

**Manuel Ângelo Rodrigues**

Instituto Politécnico de Bragança

**Lucas Da Silva Domingues**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bragança

2019

*À minha irmã*

## Agradecimentos

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR campus Dois Vizinhos/PR, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança-IPB e às políticas públicas educacionais que possibilitaram minha dupla diplomação e as tantas novas oportunidades acadêmicas, profissionais e pessoais. Ao Centro de Investigação de Montanha (CIMO) e ao laboratório de solos da Escola Superior Agrária do IPB pela disponibilidade do local e os equipamentos necessários para as análises.

Aos meus queridos orientadores do IPB Manuel Ângelo Rodrigues e Margarida Arrobas por todo o conhecimento transmitido, pela paciência, dedicação e acima de tudo pelo apoio desde o início do desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador da UTFPR Lucas da Silva Domingues, por toda a ajuda durante a minha graduação e aos demais desafios de vir a Portugal desenvolver este trabalho. Obrigada pelo apoio durante todos esses anos, pela paciência, compreensão e dedicação, agradeço por ter feito parte da minha formação.

A técnica do laboratório de solos da Escola Superior Agrária, Rita Diz e a engenheira Ana Pinto e David Carvalho por todo apoio prestado e auxílio em realização das análises.

Agradeço também as colegas Soraia de Lurdes Raimundo e Sandra Afonso pelos conselhos, dicas, companheirismo e auxílio em realização das análises. Serei eternamente grata a todos vocês, saibam que foram parte dos pilares desta dissertação.

Agradeço a todos os prestadores de serviços que fazem parte do IPB e que colaboraram para o decorrer deste trabalho. Em especial aos das estufas, que gentilmente cuidavam das mudas quando necessário.

Aos amigos que estiveram comigo durante a trajetória no decorrer da universidade. Em especial ao Milton Dias que esteve junto a mim durante todo o processo de elaboração dessa dissertação. Agradeço-te a todos os ensinamentos, a força que me deu, os conselhos e incentivos. Serei eternamente grata a ti.

À minha família por me permitir, incentivar, dar forças e me animar durante esse caminho. Aos conselhos que me deram e por terem acreditado em mim. Vocês serão sempre minha base e meu motivo de maior orgulho e força para seguir em frente.

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

## Resumo

A oliveira é uma das mais importantes culturas da bacia do mediterrâneo, possuindo grande importância econômica para Portugal e sendo a região de trás-os-montes a segunda maior produtora. Para manter altas produções é necessário um solo fértil, sendo este apto a suprir as necessidades nutricionais da cultura. Diante disso, a microfauna do solo pode auxiliar por ser responsável pelos processos de mineralização e imobilização dos nutrientes. Um bom exemplo é a associação entre as raízes e um grupo de fungos, designados micorrizico. Nesse contexto tem surgido no mercado uma gama crescente de biofertilizantes comerciais. Com isso, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito de uma micorriza comercial nas (i) propriedades do solo, em particular na biodisponibilidade dos nutrientes; (ii) na performance fotossintética; (iii) no estado nutricional das plantas durante a estação de crescimento; (iv) e na produção de matéria seca. O experimento foi conduzido nas estufas do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), região nordeste de Portugal. Foram instalados sete tratamentos (testemunha; micorriza; 3% NPK; 3% NPK + 3% N, 3% NPK + 3% P, 3% NPK + 3% K, 3% NPK + micro) com três repetições em um delineamento inteiramente ao acaso utilizando mudas de oliveira de um ano. Durante a fase de crescimento, foi avaliada a performance fotossintética das plantas. As plantas foram destruídas um ano após a plantação e separadas em raízes, caules e folhas. Os componentes da planta foram secos em estufa, pesados, moidos e analisados para a composição elementar. A partir de três repetições de amostras de solos foram determinados diversos parâmetros da fertilidade. Não foram registradas diferenças entre os tratamentos para os parâmetros medidos de fluorescência da clorofila. Relativamente a biomassa, se observou variação significativa na raiz entre tratamentos. Para a micorriza, a concentração de fósforo foi significativamente mais elevada no caule e na raiz que nos outros tratamentos. Também se observou um aumento no pH em relação a micorriza. Na disponibilidade de fósforo e potássio no solo, a micorriza se equiparou aos tratamentos com adição daqueles elementos. Para a matéria orgânica, a micorriza registou valores equivalentes aos tratamentos que originaram os resultados mais elevados. Para a atividade fosfatase, a micorriza se destacou ( $487,51 \mu\text{g nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), apresentando o dobro do tratamento com adição de fósforo ( $280,70 \mu\text{g nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ). Diante do exposto, a micorriza comercial pode ser um bom suplemento fertilizante já que contribuiu para manter os níveis nutricionais em valores satisfatórios.

**Palavras-chave:** *Olea europaea* L.; nutrição de plantas; fertilidade do solo; fósforo lábil;

## Abstract

The olive tree is one of the most important crops of the Mediterranean basin. It represents a great economic importance for Portugal, being Trás-os-Montes the second most important producing region of the country. For maintaining high levels of production, it is necessary to have a fertile soil, capable of fulfilling the nutritional needs of the crop. Microfauna of the soil can help in this purpose, because it is responsible for organic matter mineralization and immobilization of the nutrients. A good example is the association between the roots and a type of fungi, named as mycorrhizal. In this context, a growing range of commercial biofertilizers has emerged on the market. Thus, the aim of the study was to evaluate the effect of a commercial mycorrhiza on: (i) soil properties, in particular on the bioavailability of the nutrients; (ii) photosynthetic performance of the young plants; (iii) their nutritional status during the growing season; and (iv) dry matter yield. The experiment was conducted in a greenhouse of the Polytechnic Institute of Bragança (IPB), located in the northeast region of Portugal. Seven treatments (control, mycorrhiza, 3% NPK; 3% NPK + 3% N, 3% NPK + 3% P, 3% NPK + 3% K, 3% NPK + micro) were arranged in a completely random design with three replicates. Young rooted plants (~20 cm height) were used in this study and grown in pots of 3 kg soil for a year. During the growing season, it was evaluated the photosynthetic performance of the plants. The plants were destroyed one year after had been planted and separated into roots, stems and leaves. The plant's parts were dried in an oven, weighted, ground and analyzed for the elemental composition. From a soil sample they were determined several soil properties. There were not detected significant differences among treatments on the photosynthetic performance of the plants. For the biomass, it was possible to record significant differences among treatments for the roots. Phosphorus concentrations in the stems and roots were significantly higher in Mycorrhiza treated plants than in the other treatments. In Mycorrhiza pots were recorded the higher pH values. Soil phosphorus and potassium availability in Mycorrhiza pots was similar to the treatments receiving an addition of those elements. Mycorrhiza gave soil organic matter values similar to the treatments which maximized this parameter. For the phosphatase activity, the mycorrhiza ( $487,51 \mu\text{g nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) showed twice the value of the treatment with phosphorus addition ( $280,70 \mu\text{g nitrofenol g}^{-1} \text{h}^{-1}$ ). In view of the above, the commercial mycorrhiza appears as a good fertilizer since it may contribute for the maintenance of the plants nutritional status at satisfactory levels.

**key words:** *Olea europaea* L.; plant nutrition; soil fertility; labile phosphorus

## Sumário

Agradecimentos .....	II
Resumo .....	III
Abstract.....	IV
Lista de figuras .....	VII
Lista de tabelas .....	VIII
1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	3
2.1. Agricultura sustentável .....	3
2.2. O papel do solo .....	4
2.3. Qualidade do solo .....	5
2.3.1. Fertilidade do solo.....	6
2.3.2. Matéria orgânica do solo .....	7
2.3.3. Fauna e microfauna do solo .....	8
2.4. A cultura da oliveira .....	11
2.4.1. Origem, histórico e a cultura no mundo.....	11
2.4.2. Importância da cultura.....	12
2.4.3. Aspectos botânicos.....	14
2.5. Adubação do olival .....	18
2.6. Relação fungo-planta .....	21
2.6.1. Aspectos gerais.....	21
2.6.2. Fungos no solo .....	22
2.6.3. Fungos micorrizicos .....	24
2.7. Biodisponibilidade dos nutrientes e biofertilizantes .....	32
3. Material e métodos .....	34
3.1. Caracterização e implantação do experimento .....	34
3.2. Medições <i>in situ</i> .....	36
3.3. Análises nas amostras de solos .....	37
3.3.1. Determinação do pH.....	37
3.3.2. Fósforo lábil .....	37
3.3.3. Determinação de fósforo e potássio extraíveis.....	38
3.3.4. Determinação da capacidade de troca catiônica.....	38
3.3.5. Atividade da fosfatase ácida.....	39
3.3.6. Determinação do boro no solo .....	39

3.4. Análise dos tecidos vegetais .....	40
3.4.1. Determinação de nitrogênio .....	40
3.4.2. Determinação de boro .....	40
3.4.3. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês .....	41
3.5. Análise dos dados .....	41
4. Resultados.....	42
4.1. Parâmetros de fluorescência das clorofilas .....	42
4.2. Produção de biomassa.....	42
4.3. Concentração de nutrientes nos tecidos .....	43
4.4. Exportação de nutrientes na planta .....	47
4.5. Propriedades do solo .....	50
5. Discussão.....	53
5.1. Parâmetros de fluorescência das clorofilas .....	53
5.2. Produção de matéria seca.....	53
5.3. Concentração de nutrientes nos tecidos .....	54
5.4. Exportação dos nutrientes .....	57
5.5. Propriedades do solo .....	58
6. Conclusão .....	61
7. Referências bibliográficas .....	62

## Lista de figuras

Figura 1. A expansão da cultura da oliveira pelo mediterrâneo. Adaptado de Monteiro (1999). .....	11
Figura 2. Porcentagem da produção de azeite dos principais países da União Europeia durante o período de 2011-2015. Adaptado de Lucena et al. (2017). .....	13
Figura 3. Produção e consumo de azeite na União Europeia. Adaptado de Lucena et al. (2017). .....	13
Figura 4. Filogenia e classificação dos fungos. Adaptado de Hibbett et al. (2007). .....	22
Figura 5. Diagrama de representação do fungo micorrizico arbuscular e importantes fluxos de nutrientes e carbonos na rizosfera. V = Vesícula, A = Arbúsculo. Adaptado de Coleman et al. (1983), Reid (1990). .....	26
Figura 6. Mapa de localização das estufas. Google earth (2018). .....	34
Figura 7. Distribuição do delineamento experimental na estufa. ....	35
Figura 8. a) Grampo em folha jovem de oliveira; b) Medição da fluorometria da clorofila. ....	36
Figura 9. Amostras de solo com adição da resina. ....	38

## Lista de tabelas

Tabela 1. Sistemática da oliveira. Adaptado de Bacelar et al. (2009).....	14
Tabela 2. Descrição botânica da oliveira. Adaptado de Bacelar et al. (2009).....	15
Tabela 3. Concentrações críticas dos nutrientes expresso em matéria seca. Adaptado de Freeman et al. (2005).....	20
Tabela 4. Parâmetros medidos e estimados de fluorescência da clorofila a e da fluorescência transiente OJIP. ....	42
Tabela 5. Matéria seca das diferentes partes da planta em função dos tratamentos fertilizantes .....	43
Tabela 6. Concentração de macronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante.....	44
Tabela 7. Concentração de micronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante.....	44
Tabela 8. Concentração de macronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante.....	45
Tabela 9. Concentração de micronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante.....	46
Tabela 10. Concentração de macronutrientes na raiz em função do tratamento fertilizante .....	46
Tabela 11. Concentração de micronutrientes na raiz em função do tratamento fertilizante .....	47
Tabela 12. Exportação dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na totalidade da planta.....	48
Tabela 13. Exportação dos micronutrientes na raiz, parte aérea (P.A) e na totalidade da planta em função dos tratamentos fertilizantes.....	49
Tabela 14. pH (H <sub>2</sub> O), pH (KCl), fósforo e potássio extraíveis (Egner-Rhiem), boro extraível em água fervente e matéria orgânica (MO) facilmente oxidável (Walkley-Black). ....	51
Tabela 15. Resultados da análise ao complexo de troca.....	51
Tabela 16. Fósforo lábil e atividade fosfatase ácida em função dos tratamentos fertilizantes .....	52

## 1. Introdução

A oliveira, *Olea europea* L., é uma importante espécie para Portugal e para toda a bacia do mediterrâneo. É considerada uma das espécies mais antigas a ter sido domesticada, a qual se espalhou por toda a região Ibérica e norte da África (Monteiro, 1999). Não se sabe ao certo seu centro de origem, porém segundo Reis (2014), poderia ter sido a Síria ou a Ásia menor.

A cultura se expandiu em ambos os hemisférios, estando presente nas latitudes de 30° a 45° (Fernández-Escobar et al., 2012). Podendo inclusive estar presente em diversos climas, porém o de maior adaptação será com invernos suaves e verões quentes. A sua expansão em área territorial é marcante, sendo que a partir dos anos 1900 sua área de ocupação era de praticamente a mesma que atualmente (Reis, 2014).

O continente Europeu é o maior representante da produção de oliveira, sendo que a partir dos anos 2000 a superfície era de mais de 5 milhões de hectares. Dentre tal contexto, Portugal juntamente com a Espanha, Itália e Grécia foram responsáveis por cerca de 10 milhões de toneladas de azeite em 2016 (Eurostat, 2017). A olivicultura para Portugal possui grande importância, sendo a produção de azeitonas em 2017 acima da média dos últimos anos, atingindo valores superiores a 800 mil toneladas.

Dessa forma, para que um olival expresse seu máximo potencial produtivo é necessário investir em adubação e na fertilidade e qualidade do solo. Para isso, é comum a utilização de fertilizantes químicos convencionais, que disponibilizam de forma imediata os nutrientes. No entanto, essa prática não favorece o sistema radicular em explorar o solo de forma ampla, uma vez que os fertilizantes são comumente aplicados próximo a raiz. Com a redução do sistema radicular, em uma situação de estresse a planta não conseguirá absorver nutrientes de forma adequada, já que a assimilação nutricional é proporcional a superfície radicular. Porém, podem existir alternativas que atualmente são de fácil acesso, a exemplo estão as micorrizas comerciais.

Estes fungos estabelecem relações mutualísticas com a planta e fornecem a ela nutrientes e aumento da absorção de água (Smith & Read, 2008) em troca de fotoassimilados. Essas associações são muito comuns no reino vegetal sendo que sua ocorrência se dá em aproximadamente 95% das plantas conhecidas (Smith & Read, 2008).

A forma como as hifas irão absorver os nutrientes podem ser diversas e específica para cada elemento. Inúmeros autores (Chatzistathis et al., 2013; Bati et al., 2014; Ortas & Bykova, 2018) relataram aumentos da concentração de nitrogênio, potássio e especialmente o fósforo. Marschner & Dell (1994) citam que as micorrizas podem ser responsáveis por 80% do fósforo nas plantas, 25% do nitrogênio, 10% do potássio, 25% do zinco e 60% do cobre.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como principal objetivo avaliar o efeito de uma micorriza comercial sobre a absorção de nutrientes e crescimento de jovens plantas de oliveira cultivadas em vasos. Para isso foram feitas análises sobre a performance fotossintética das plantas, a produção de matéria seca, propriedades do solo em particular na biodisponibilidade dos nutrientes e o estado nutricional das plantas durante a estação de crescimento. A experiência decorreu em casa de vegetação.

A presente dissertação foi dividida em cinco partes, sendo elas, revisão bibliográfica, material e métodos, resultados, discussão e conclusões. Na primeira parte, faz-se uma contextualização geral sobre agricultura, a cultura da oliveira de forma mais aprofundada para a adubação, a relação entre plantas e fungos, abordando de forma detalhada os fungos micorrizicos, e por fim fala-se sobre a biodisponibilidade dos nutrientes e também a respeito dos biofertilizantes. Na segunda parte, é apontada a forma como foi conduzido o experimento, tanto a campo quanto laboratorial, bem como as metodologias e protocolos seguidos. Em seguida, são apresentados os resultados obtidos em forma de tabelas e depois são discutidos com base em outros pesquisadores do mesmo tema e na bibliografia consultada. Por último são reunidos todos os resultados de forma breve nas conclusões.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. Agricultura sustentável

O desenvolvimento sustentável é foco de debate a tempos, sendo que desde sua primeira definição já foi reinterpretado diversas vezes. Inicialmente o termo foi descrito pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no relatório “nosso futuro comum” o qual foi descrito como, um desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem suas próprias necessidades (World Commission on Environment and Development, 1987).

Sustentável, palavra cujo significado proposto por Costa & Melo (1995), diz respeito a “defender” ou “seguir”, sentido esse que pode ser aplicado em diversas temáticas inclusive na agricultura. Nesse ramo poderá seguir diversas vertentes, como uma ideologia, estratégia para o produtor rural desenvolver a melhor agricultura com o mínimo de perdas, como uma habilidade para determinação de objetivos ou até como garantia para a continuidade da agricultura.

Segundo Hansen (1996), dois são os conceitos de agricultura sustentável. Um diz respeito às preocupações do impacto causado pelas práticas comumente realizadas, também apoiando as ideologias para que o almejado seja atingido. E a segunda interpretação, será como uma consequência das atividades agrícolas, sendo que a agricultura tenderá a evoluir e, com isso, aos poucos se tornando cada vez mais sustentável.

Porém, tais conceitos são teóricos e para que se tornem funcionais devem ser aplicados conforme citado por Lopez-Ridaura et al. (2002). Os autores analisam a sustentabilidade de forma desafiadora, já que a prática se torna mais complexa que as teorias, uma vez sendo necessário levar em consideração aspectos sociais e econômicos para que o sistema seja sustentável como um todo.

Trabalhos nessa linha de pesquisa vem se tornando cada vez mais importantes, uma vez que permite aplicar princípios teóricos e elaborar metodologias que facilitarão a forma como a agricultura é feita.

## 2.2. O papel do solo

Solo é a camada superficial da terra, proveniente da ação de intemperismo e degradação das rochas que é responsável por sustentar inúmeras espécies de organismos vivos, inclusive os seres humanos. É fonte primária de nutrientes, minerais de extrema importância para as plantas, garantindo seu crescimento e a cadeia de alimento do mundo. O manejo adequado do solo é primordial para que se tenha uma agricultura sustentável, e inclusive se garanta o futuro dos alimentos de forma global. Assim, é preciso inovar, a fim de se preservar os solos, visando evitar degradação, erosão e contaminação.

Segundo Lal (2009), no século XXI, além da conservação, é necessário abrir espaço para as novas funções que um solo pode desempenhar, as quais devem ser cuidadosamente escolhidas para terem o mínimo de impacto possível. Dentre as apontadas pelo autor estão, mitigação das alterações climáticas, purificação das águas, depósito de resíduos industriais e urbanos de uma forma que não afete lençóis freáticos ou o ar, dentre muitas outras que transpassam as questões agronômicas.

Além dessas colocações, um solo também deve garantir o suporte da planta fornecendo um meio adequado ao seu crescimento. O mesmo ainda deve ter papel no ciclo de água no ambiente, estocar e promover a ciclagem dos nutrientes, e ainda servir como um filtro dos compostos prejudiciais que ali são depositados.

Porém, de acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO) (2011), 25% dos solos de todo o planeta já apresentam algum grau de degradação. Com isso, o desafio da atualidade é garantir tanto a segurança desses solos, bem como das águas e da alimentação, visando preservar os recursos naturais e ressaltar o que o solo tem de melhor para determinadas culturas ou usos.

Além dos desafios já apresentados, o aumento do número de solos degradados no planeta também causará uma pressão demográfica maior, além de comprometer a agricultura de subsistência (Lal, 1998). O mesmo autor ainda cita a ligação entre a sustentabilidade e a qualidade do solo, afirmando que ao trabalhá-los em conjunto se obterá uma produtividade superior, e outros benefícios sociais e conservação de recursos ambientais.

### 2.3. Qualidade do solo

A qualidade do solo é um termo considerado de difícil definição, já que os solos podem ter diferentes aptidões e com isso será mais indicado para determinados fins. Já foram propostas descrições do termo, como idealizado por Karlen et al. (1997), que define qualidade como a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens”. Johnson et al. (1997) propuseram a qualidade do solo como uma medida, afirmando que “qualidade do solo é uma medida da condição do solo em relação às exigências de uma ou mais espécies e/ou de qualquer necessidade ou propósito humano”.

Além dessas definições, não se pode esquecer que a qualidade do solo também engloba aspectos relacionados a biota, a microbiologia daquele solo e os demais seres vivos que ali vivem e dele dependem (Karlen et al., 1997). Com isso, Doran & Zeiss (2000) apresentam um outro termo, o de saúde do solo, o qual é apontado como sinônimo para sustentabilidade do solo, uma vez que tratará deste como um ambiente vivo e dinâmico, cujas funções são mediadas por organismos vivos que pedem conservação e consciência na hora de manejar esse solo. Sendo possível inclusive utilizá-los como bioindicadores da sustentabilidade, uma vez que integram as propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente ali formado.

Para se ter um sistema agrícola sustentável será necessário manter ou recuperar a qualidade dos solos, o qual é um ponto crucial para a qualidade ambiental como um todo e também para a produtividade. Lal (1998) cita que um passo importante é o de identificação das restrições que impedem o solo de fornecer o que é necessário para as culturas acima dele. Algumas dessas restrições que valem ser mencionadas são, perda da fertilidade, erosão, alagamento, taxa de permeabilidade alterada, entre muitas outras.

É importante ressaltar ainda que com uma cadeia interligada a má qualidade do solo, pode evoluir para degradação completa do ambiente ao redor, gerando um dano ambiental irreparável. Além de interferir no ciclo da água local, afetar a qualidade do ar e a biologia, pode ainda evoluir para um caso de desertificação.

Estudo realizado por Figueiredo et al. (2015) apontam os riscos do nordeste de Portugal à degradação do solo, sendo demonstrado um baixo índice de risco. Porém os solos já degradados são muitos, com 167 mil hectares com danos. Danos esses que podem ser impulsionados graças a alta degradação e a sobre-exploração.

### 2.3.1. Fertilidade do solo

Resiliência é a capacidade de um sistema retornar ao equilíbrio dinâmico após um distúrbio. No caso dos nutrientes a resiliência é conferida através do equilíbrio entre a absorção biológica (plantas e microrganismos) e a estabilização nutricional existente no solo (Tiessen et al., 1994). Naturalmente os ecossistemas encontram maneiras de reciclar os nutrientes de forma eficiente sem causar um desequilíbrio ao meio.

Observando os distúrbios causados espontaneamente na natureza que quebram esse equilíbrio, como queimadas ou períodos de déficit hídrico, e como a natureza se regenera através de suas adaptações, podemos utilizá-las de forma a inspirar um agroecossistema em equilíbrio.

Um solo considerado fértil será aquele que apresentar capacidade de suprir as plantas com nutrientes essenciais em quantidade suficiente para garantir seu bom desenvolvimento. Porém vale ressaltar que um solo fértil não necessariamente representará um solo produtivo, uma vez que outros fatores influenciam nesse fator, como clima, disponibilidade hídrica entre outros.

Tradicionalmente as técnicas de aumento da produção sempre foram baseadas em expansão territorial (Freitas & Mendonça, 2016). Porém não são levados em consideração outros fatores locais que podem afetar a produtividade, sendo a nutrição e seu equilíbrio um ponto crucial (Freitas & Mendonça, 2016).

Dentre os dezesseis elementos necessários para o crescimento e desenvolvimento de uma planta, comumente são citados apenas três, por serem os que normalmente irão apresentar deficiência nos solos, são eles, nitrogênio, fósforo e potássio. Os demais nutrientes também podem apresentar deficiência, porém dependerá do tipo de solo, do pH e outros fatores ligados a gênese ou a física destes solos, e até fatores climáticos interferirão na fertilidade.

Esses nutrientes são majoritariamente estocados no solo de três formas, sendo estas as fontes naturais de nutrição. Dessa forma, os nutrientes serão encontrados na matéria orgânica do solo, nos minerais do solo através do intemperismo, e nutrientes adsorvidos presentes nas superfícies coloidais do solo sendo estes os mais prontamente disponíveis para a planta (Sopher & Baird, 1982).

Plantas requerem os nutrientes em quantia certa, no momento adequado e em balanço correto entre os mesmos, somente assim se garantirá um bom desenvolvimento.

Com essas informações em mente, deve-se escolher da melhor maneira possível a forma de como se suprirá as deficiências nutricionais da planta.

Num agroecossistema será preciso pensar na ciclagem de nutrientes de forma a minimizar as perdas e as exportações, buscando manter o máximo possível da disponibilidade de nutrientes que já existe, e então só complementar o faltante (Tiessen et al., 1994).

Stangel et al. (1994) apontam para a importância dos cuidados com os nutrientes do solo, já que as perdas de minerais essenciais do solo podem chegar a 50 kg ha<sup>-1</sup> por ano, dependendo da cultura e do ano. Os mesmos também ressaltam cinco tópicos de pesquisa e tecnologia para buscar reverter os danos. Dentre eles, estão estudos de longo prazo do balanço dos nutrientes entre solo e o ambiente, estratégias para aumentar a matéria orgânica no solo, e estratégias para reduzir perdas nutricionais.

### 2.3.2. Matéria orgânica do solo

De acordo com Stevenson & Cole (1999), um sistema agrícola para ser considerado sustentável precisa ter os teores de matéria orgânica adequados. Gregorich et al. (1994) relembram que para essa sustentabilidade ocorrer é preciso que haja uma passagem de tempo. Os autores afirmam que para o solo ser sustentável é preciso que funcione como um componente viável, dessa forma será necessário que ao longo do tempo seja melhorado e aprimorado.

Uma boa forma de aprimorar o solo é através da matéria orgânica, sendo sua definição a de todo material animal ou vegetal que já se encontra incorporado no solo ou em sua superfície e que já apresenta algum grau de decomposição (Fullen & Catt, 2004).

Para Doran & Parkin (1994) a matéria orgânica do solo possui um excelente potencial para ser utilizada como indicador de qualidade do solo. Já que apresenta características necessárias que demonstram o comportamento daquele solo naquele local. Stevenson & Cole (1999) fragmentam a matéria orgânica em algumas partes, sendo elas, resíduo de macrorganismos, resíduo parcial da decomposição das plantas, massa microbiana envolvendo os microrganismos como bactérias ou fungos, biomassa da fauna em decomposição, resíduo de decomposição de raízes e substâncias orgânicas dissolvidas na solução do solo.

Por serem diversas as partes que compõem a matéria orgânica, a mesma pode se tornar única, gerando uma especificidade local, fazendo com que o solo se torne um

organismo mais vivo, ou mais pobre. Também determinará se naquele solo haverá maior ou menor disponibilidade de nutrientes, bem como se seus ciclos são bem executados. Esses pontos sendo influenciados diretamente pelas práticas agrícolas, o tipo da cultura ali empregada e as mudanças ambientais que ali ocorrem (Stevenson & Cole, 1999).

Pensando em um conceito mais prático é importante que a mesma possa ser medida de alguma forma ou quantificada. Sendo diversas as maneiras possíveis, como a quantia de carbono ali estocado, a quantia de biomassa, medição da massa microbiológica, contagem da fauna ali presente, entre inúmeras outras formas (Vargas & Scholles, 2000). Com essas maneiras de se medir é possível se obter dados concretos sobre a vida daquele solo e conseqüentemente sobre a matéria orgânica.

Como exemplo prático citado acima está o aporte de carbono, ou seja, a entrada e estoque que haverá no solo (decomposição da manta de restos de plantas e materiais depositados na superfície do solo). Sendo este de extrema importância para um ecossistema, e ainda maior para um agroecossistema (Geijn & Veen, 1993). Isso porque a camada de carbono que será formada ali determinará a fauna presente naquele solo e a disponibilidade de nutrientes de forma sustentável. Uma vez que o tamanho da comunidade microbiana e sua atividade determinam a intensidade com que os processos bioquímicos ocorrem (Vargas & Scholles, 2000).

Bons modelos de microrganismos que ocorrem no solo e contribuem significativamente para a sustentabilidade são as micorrizas, podendo essas ser responsáveis por um dreno anual de 5 bilhões de toneladas carbono atmosférico (Bago et al., 2000). Dado este que ressalta a importância dos microrganismos a nível ambiental, ecológico e agrícola, não só para o local, mas para todo o planeta.

### 2.3.3. Fauna e microfauna do solo

Um solo aprimorado e com boa qualidade como citado anteriormente será aquele com bons teores de matéria orgânica. Porém para que ocorra a degradação desse material é necessário que haja no perfil do solo microrganismos. Estes serão responsáveis por degradação e decomposição, sendo que sua diversidade e abundância irá determinar a velocidade com que esse processo irá ocorrer.

Essa microfauna que vive no solo irá apresentar um papel duplo, primeiro como agente da degradação de resíduo de plantas, que corriqueiramente irá liberar nutrientes e gás carbônico e o segundo papel será de modificador desses nutrientes (Stevenson &

Cole, 1999). Assim, os microrganismos serão responsáveis por processos como mineralização e imobilização de nutrientes. E como consequência, a possibilidade de serem assimilados pelas plantas e com isso aprimorando as taxas de produtividade, mesmo se utilizada a adubação química.

Porém, também pode haver outros fatores que afetarão a deterioração do material vegetal, que segundo Paul & Clark (1996) também dependem da profundidade do perfil. Os autores afirmam que, conforme a profundidade do solo vai aumentando, as taxas de decomposição vão diminuindo, sendo o local mais favorável para se encontrar as maiores taxas de decomposição, a rizosfera, já que é onde se localiza a maioria dos microrganismos, especialmente os simbioses.

Diversas são as espécies que compõe a rizosfera. A interação entre espécies, interespecie, entre o solo e a planta, será muito importante para entender as relações que ali ocorrem. Especialmente, as que dizem respeito aos ciclos dos nutrientes, como ciclo do nitrogênio, fósforo, carbono, ou qualquer outro desempenhado no solo e que tenha relação microrgânica.

Dantas et al. (2009), afirmam que na rizosfera é possível observar um número de organismos muito superior que fora desta zona, sendo de até 100 vezes superior que no restante solo. Isso ocorre devido às condições favoráveis que as raízes acabam criando, favorecendo assim o desenvolvimento de bactérias e fungos.

Mas, segundo Hornby (1990), nem todos os microrganismos da rizosfera serão considerados benéficos. O autor os divide em três grupos: os benéficos; os prejudiciais; e os neutros. Os prejudiciais são responsáveis por causarem doenças nas plantas, muitas vezes levando-as à morte. Os benéficos, que são os de maior interesse neste texto, serão os responsáveis por influenciar no crescimento e desenvolvimento da planta, fornecendo nutrientes, promovendo a síntese de hormônios e suprimindo os microrganismos prejudiciais.

Dentre os organismos da rizosfera, Zuberer (1990) cita as bactérias, os protozoários, os nematoides e também os fungos arbusculares. Sendo os protozoários e os nematoides seres que ainda não são compreendidos completamente, porém já se sabe que os protozoários terão importante papel na mineralização do nitrogênio, enquanto que os nematoides influenciarão mais nas leguminosas.

As bactérias serão os organismos mais vistos na rizosfera, sendo possível inclusive encontrar diversos tipos. Campbell & Greaves (1990) observaram que a rizosfera exerce um efeito muito grande nesses seres, sendo que perto das raízes podem ser encontrados

em maior diversidade morfológica e tamanho. As bactérias são divididas em simbiontes e não simbiontes, sendo que o segundo grupo é responsável pela nodulação em leguminosas, que apresentam papel crucial na fixação do nitrogênio.

Os fungos, especificamente aqueles que formarão uma interação com as plantas, conhecida como micorriza, formarão uma ponte entre o ambiente do solo e a expansão da capacidade da planta em realizar inúmeras atividades, como a nutrição. São os únicos organismos da rizosfera que terão a habilidade de percorrer não só essa camada, mas também a massa de solo sem ação das raízes (Reid, 1990).

E, devido a essa capacidade, as micorrizas poderão absorver mais nutrientes, especialmente aqueles que são pouco móveis como é o caso do cobre, magnésio, zinco e fósforo, sendo o último o mais reconhecido, por ser um recurso natural finito, e também por ser um macronutriente muito importante na constituição celular da planta, desempenhando papéis fundamentais no metabolismo energético.

Berbara et al. (2006) apontam que os benefícios nutricionais em relação ao fósforo são vários, entre eles aumento no crescimento e na atividade fotossintética e aumento na taxa de transferência de carboidratos para as raízes. Sendo possível essa ocorrência devido ao fato de que a micorriza consegue baixar o pH do meio e aumentar a solubilização deste nutriente. Vale ressaltar que essa simbiose também promove a absorção de outros nutrientes muito importantes, como é o caso do nitrogênio, porém esses não recebem tanto destaque, uma vez que a planta não é tão dependente da simbiose para a absorção destes minerais (Gamper et al., 2004).

Além de todo papel ligado à nutrição, estes organismos do solo também apresentam outros benefícios, como a estruturação do solo e a estabilidade de agregados (através da glomalina), já sendo comprovada a vantagem da associação especialmente para a ecologia, além de ser utilizada como bioindicadora. Sendo possível que as micorrizas ajudem na recuperação de áreas degradadas (Silva et al., 2012), e onde os solos já não apresentam altas taxas de fertilidade. Ainda são utilizados para indicar a eficiência de processos de aporte de carbono através da biomassa microbiana e suas atividades, sendo canais de dreno de carbono atmosférico por intermédio das plantas (Berbara et al., 2006).

## 2.4. A cultura da oliveira

### 2.4.1. Origem, histórico e a cultura no mundo

A oliveira (*Olea europaea* L.), juntamente com os cereais e a videira, formam o que ficou conhecido como tríade agrícola do mediterrâneo, isso porque são responsáveis pela base alimentar dos povos que ali viviam, e até hoje vivem (Lucena et al., 2017). O seu cultivo data de muitos séculos sendo registrado no Egito a cerca de quatro mil anos, porém não se sabe ao certo sobre sua origem. Segundo Reis (2014) poderia ter sido na Síria ou na Ásia menor, e então a planta teria sido dissipada para a península Ibérica e Mediterrâneo.

A olivicultura se estabeleceu muito bem nessa região, onde até hoje é muito famosa pelo cultivo, sendo uma das poucas culturas comuns em todas as explorações agrícolas do mediterrâneo. Em Portugal, duas são as hipóteses sobre os povos que as trouxeram. Ou pelo sul, através do Algarve, no qual teriam sido instaladas pelos gregos principalmente, ou então pelo norte através da Galiza, o qual coincide com a época romana (Monteiro, 1999), como pode ser visto em detalhe na figura 01.

Porém, apesar das duas vertentes, já se sabe que em Trás-os-Montes a cultura fora instalada através do sul do país, e essa região foi a última a introduzir o cultivo da oliveira (Monteiro, 1999). Porém, apesar disso, acompanhou bem as atualizações do setor e as modernizações, sendo destaque em produção e em área em Portugal.

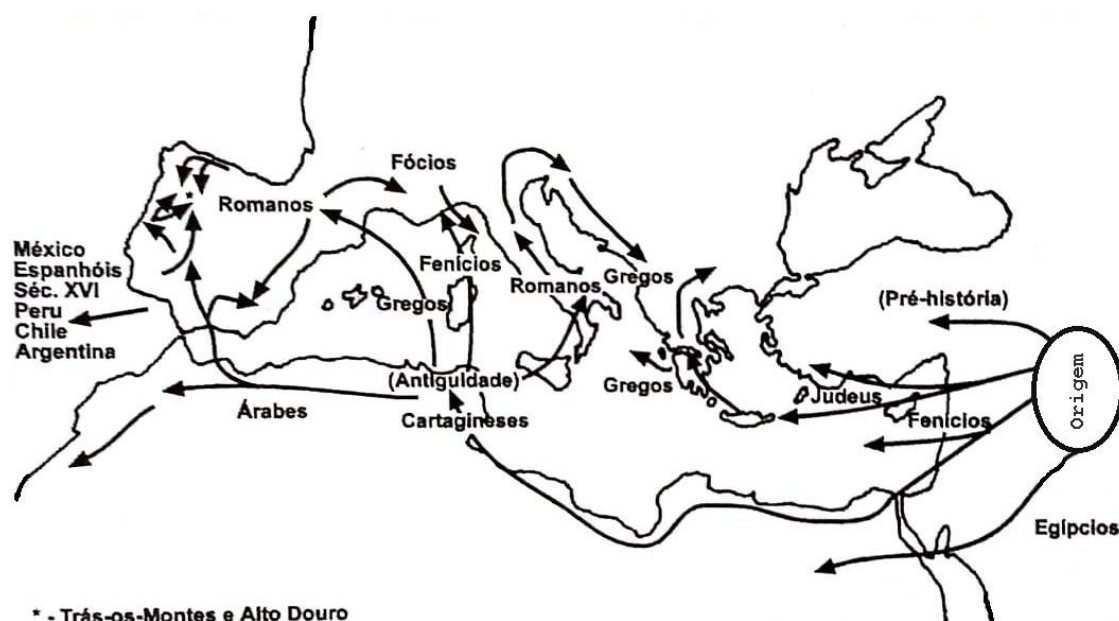


Figura 1. A expansão da cultura da oliveira pelo mediterrâneo. Adaptado de Monteiro (1999).

A olivicultura foi se expandindo para o mundo após a descoberta das américas no século XV, e a partir daí começou a ser cultivada em inúmeros países ao redor do mundo (Lucena et al., 2017). Hoje é cultivada em ambos os hemisférios entre as latitudes de 30° e 45° e pode estar presente em climas muito variados, desde zonas desérticas até os climas mais úmidos (Fernández-Escobar et al., 2012).

#### 2.4.2. Importância da cultura

A oliveira sempre apresentou grande importância devido a sua versatilidade. Podendo apresentar funções desde a alimentação com o fruto e o azeite, até o uso para a comunidade, com iluminação através do azeite ou aquecimento pela lenha de poda (Reis, 2014). Também podendo ser utilizada para saponificação, lubrificação e combustível (Reis, 2014).

Porém, com o passar dos séculos, a cultura foi ganhando destaque especialmente pelo seu fruto, sendo que a partir da década de 1990 se expandiu muito, aumentando consideravelmente as áreas de cultivo especialmente para azeite. Dados do Gabinete de Planeamento e Políticas (GPP) (2007) mostram um crescimento da produção de cerca de 4,6% ao ano entre 1994/95 a 2004/05.

A partir do ano de 2000 a superfície oleícola em toda União Europeia era de aproximadamente 5 milhões de hectares. Dados da Eurostat (2017) mostram que nessa parte do globo a cultura apresenta ainda mais importância, sendo responsável por três quartos da produção de todo o mundo.

Dentre tal contexto, se encaixa Portugal, sendo responsável juntamente com Espanha, Itália e Grécia por uma produção de 10 milhões de toneladas de azeite em 2016 (Eurostat, 2017). Sendo ainda esses mesmos países responsáveis pelos maiores rendimentos em azeite desde 2011, como é mostrado na figura 02.

Segundo Lucena et al. (2017) tal valor só é tão positivo graças à entrada de Portugal e Espanha na união Europeia em 1986, favorecendo muito a produção. Os autores mostram inclusive que a produção passou de 1,2 milhões de t de 1981-1985 a 1,9 milhões de t em 2011-2015, mostrando inclusive uma alta no consumo (figura 03).

Já no ano de 2017 Portugal se destacou com uma produção de aproximadamente 800 mil t (azeitona para mesa e para azeite), e só a produção de azeite ultrapassou os 1,47 milhões de hectolitros, valor esse que bate a meta histórica (Instituto Nacional de Estatísticas, 2017). É importante ressaltar que para tal valor condições essenciais foram

favoráveis, permitindo com isso uma alta carga de frutos nas plantas. Além das altas produções, Portugal também recebe destaque na qualidade do produto, sendo que quase a totalidade de seu azeite recebe a melhor classificação, a de “vigem extra” (Instituto Nacional de Estatísticas, 2017).

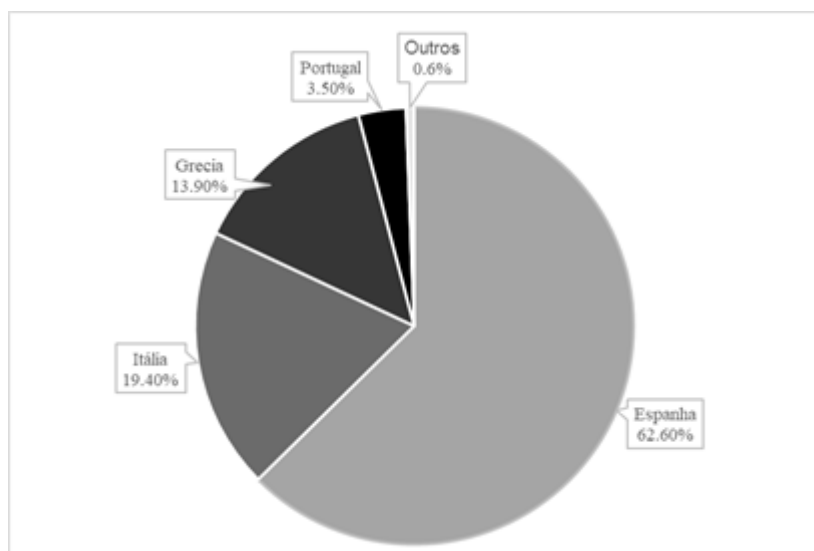


Figura 2. Porcentagem da produção de azeite dos principais países da União Europeia durante o período de 2011-2015. Adaptado de Lucena et al. (2017).

Em comparação entre as principais regiões olivícolas em Portugal, pode-se afirmar que o Alentejo, no Sul do país, é o maior produtor com uma representação de 41% (Duarte et al., 2006). Em segundo fica Trás-os-Montes, no Nordeste, com 22% e com 18% da área de olival está Beira Interior, no Centro (Duarte et al., 2006).

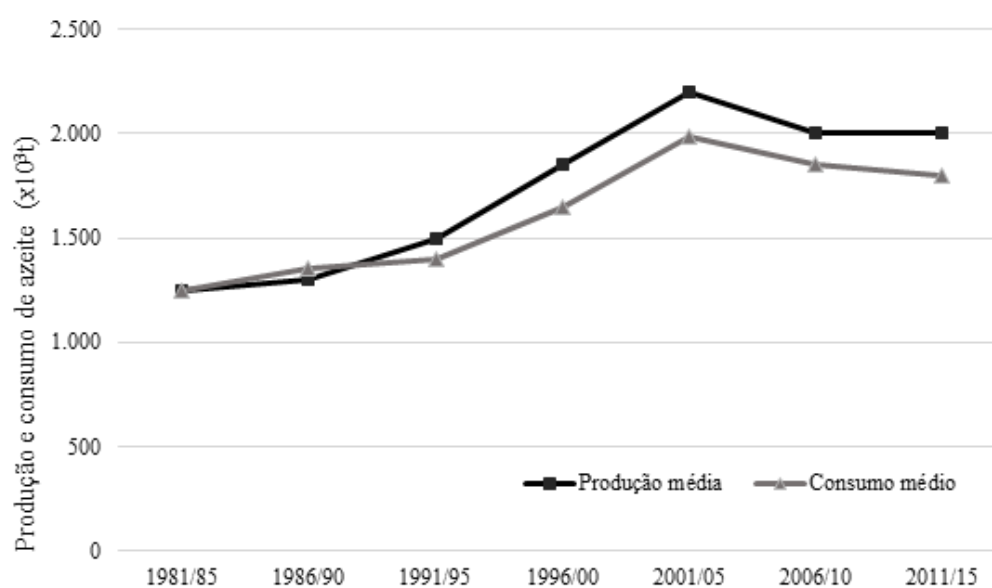


Figura 3. Produção e consumo de azeite na União Europeia. Adaptado de Lucena et al. (2017).

De fato, os dados apresentados pelo censo estatístico do Instituto Nacional de Estatísticas (2017) confirmam tais posições, Alentejo é o que apresenta a maior produção tanto de azeitonas de mesa quanto para azeite, com 620 mil t, enquanto o norte, fica com um total de 107 mil t, já o centro produziu 80 mil t. Porém, vale ressaltar que somente para azeitona de mesa é que o norte, representado por Trás-os-Montes, fica com a segunda classificação, com 8 mil t, já em azeitona para azeite, o centro possui uma produção superior com 79 mil t enquanto o norte produziu 77 mil t.

Cabe aqui inclusive explicar que tal discrepância se deve aos diferentes modelos de produção. Sendo comum os intensivos, com variedades novas e com compassos bem reduzidos, além de caracterizados pelo alto uso de tecnologia e mecanização no Alentejo. Mas em contrapartida, a olivicultura Portuguesa também é muito caracterizada pelos olivais tradicionais, com variedades antigas e normalmente mais espaçados, ambos muito importantes para a economia nacional, e também para histórico do país, sem contar o valor social e genético. Sendo esse tipo de sistema é mais comum no norte.

#### 2.4.3. Aspectos botânicos

A oliveira, como pode ser verificado nas tabelas 01 e 02, pertence à ordem Oleales, na qual só existe a família botânica Oleaceae (Bacelar et al., 2009). Apesar de ser a única família, diversas são as espécies que estão espalhadas pelo mundo, tanto em zonas tropicais quanto temperadas (Bacelar et al., 2009). Dentro desta família existem 30 gêneros, e mais de 600 espécies, sendo a espécie da oliveira subdividida em subespécies, a *Olea europaea sativa* e a *Olea europaea sylvestris*, sendo a primeira a forma cultivada enquanto que a segunda é a forma selvagem (Bohm & Antunes, 2013).

Tabela 1. Sistemática da oliveira. Adaptado de Bacelar et al. (2009)

Divisão	Spermatophyta
Subdivisão	Angiospermae
Classe	Dicotyledoneae
Subclasse	Lamiidae
Ordem	Oleales
Família	Oleaceae
Subfamília	Oleideae
Tribo	Oleae
Gênero	<i>Olea</i>
Espécie	<i>Olea europaea</i> L.

Tabela 2. Descrição botânica da oliveira. Adaptado de Bacelar et al. (2009)

<b>Descrição botânica</b>	
Planta	Árvores baixas de tronco retorcido e longeva.
Tipo fisionômico	Mesofanerófito.
Folhas	Folhas simples verde-acinzentadas, mais claras na parte inferior.
Flores	Flores radiadas e tetrâmeras, estames em número de dois, ovário súpero bicarpelar e sincárpico.
Fruto	Drupas com pericarpo rico em lipídios.

#### 2.4.3.1. Estruturas vegetativas

As árvores do gênero *Olea* normalmente não são muito altas, ficando de tamanho mediano com cerca de 4 a 8 metros de altura, podendo variar conforme a variedade (Rapoport & Moreno-Alías, 2017). A espécie é poliploide, perenifólia, de crescimento lento e longeva, podendo ser encontrados olivais produtivos com mais de 300 a 400 anos (Guerrero, 1997; Bacelar et al., 2009). Segundo Guerrero (1997) a planta é muito rústica, podendo ser cultivada em terrenos não muito férteis e de climas bem variados.

Segundo alguns autores, como Bacelar et al. (2009) e Rapoport & Moreno-Alías (2017), seu sistema radicular será formado dependendo da origem da planta. Se a origem for semente, irá gerar uma raiz primária e principal que irá gerir todo o sistema radicular pelos primeiros anos. Já se a planta for originada de estaca, o que é muito mais comum, seu sistema radicular será formado por várias raízes secundárias e mais finas que irão fazer o papel de raízes primárias.

Alguns fatores relacionados às características do solo também irão influenciar no desenvolvimento da raiz, podendo interferir na profundidade que esta atinge no solo. Bacelar et al. (2009) apontam que é comum as raízes se estenderem no solo entre 15 a 20 cm, chegando até 80 cm. Os autores ainda apontam que, as raízes se aprofundam mais em solos soltos e arenosos, diferente dos argilosos e densos.

Fatores ambientais como a disponibilidade hídrica também afetam o crescimento da raiz, sendo que esta irá se aprofundar mais quando o ambiente for mais seco e menos caso o ambiente seja mais úmido (Guerrero, 1997). Isso ocorre porque as raízes que mais absorvem água e nutrientes são as mais jovens e por isso mais próximas da superfície, necessitando de um auxílio maior das demais raízes quando o solo da superfície está seco. É comum que as raízes jovens se renovem constantemente e apresentem um aspecto

esbranquiçado, sendo essas as que mais absorvem água e nutrientes (Rapoport & Moreno-Alías, 2017).

O tronco da oliveira é grosso e por vezes tortuoso. Pode ser dividido em duas partes, sendo a cepa a parte inferior encontrada na base do tronco, normalmente vista em árvores já adultas (Guerrero, 1997). A segunda metade é onde se formarão os ramos. A oliveira normalmente forma copas muito densas, com muitos ramos, o que obriga a podas regulares para favorecer a entrada de luz no interior (Rapoport & Moreno-Alías, 2017). Os ramos são divididos em principais e frutíferos, sendo os segundos formados na primavera e no outono, os quais irão gerar flores e posteriormente frutos (Bacelar et al., 2009).

As folhas são perenes e persistem na planta por 1 a 3 anos. São simples, com pecíolo curto e dispõem-se em forma cruzada no ramo (Moreno-Alías et al., 2009). Apresentam inúmeras formas e tamanhos, tudo variando conforme a subespécie, variedade e também as condições de crescimento da planta, luminosidade, clima, etc. (Green, 2002).

A anatomia da folha da oliveira reflete a adaptação climática ao estresse hídrico, sendo muito rija, escura e possuindo um brilho devido a uma grossa cutícula. A face abaxial é de coloração mais clara, próxima ao prateado, devido a tricomas que se apresentam na superfície para proteção à seca e à falta de água (Moreno-Alías et al., 2009). Segundo Moreno-Alías et al. (2009) a folha é considerada xeromorfa, por diversos fatores que a classificam como muito resistente à seca. Os autores destacam que um desses fatores é a presença dos estômatos somente na face abaxial da folha, outro sendo a localização do parênquima paliçádico, também estando em maior concentração na face abaxial e entre o parênquima lacunoso.

#### 2.4.3.2. Estruturas reprodutivas

A partir dos ramos reprodutivos irão surgir as inflorescências nas axilas das folhas, sempre a partir de um amontoado de tecidos que irão dar origem a um eixo que se ramifica em várias pequenas flores, por isso a inflorescência da oliveira é considerada paniculada (King, 1938). É normal que a razão entre o número de inflorescências e o número de gomos fique entre os 50 a 60%, porém podem existir variedades que possam ultrapassar os valores de 80%. No entanto, diversos fatores irão influenciar, como a localização da planta, condições climáticas do ano, etc. (Bacelar et al., 2009).

As inflorescências formam flores de dois tipos, ou são perfeitas, com pistilo e estames bem desenvolvidos, ou são imperfeitas, apresentando somente os estigmas. As últimas não geram frutos, devido à ausência do ovário (Moreno-Alías et al., 2012). As flores são pequenas e compostas por duas sépalas, quatro pétalas, dois estames e um pistilo, quando em formato de flor perfeita, podendo gerar fruto (Bacelar et al., 2009).

A polinização da oliveira é anemófila, ou seja, é realizada através do vento. A espécie pode realizar autopolinização, polinização cruzada e até ser autoincompatível (Guerrero, 1997). Mas, segundo o mesmo autor, é incomum e raro que ocorra autofertilização, ou seja, a polinização e fecundação de uma flor com o pólen dela mesma. Após isso, irá ocorrer o processo de fecundação e desenvolvimento do fruto.

O fruto da oliveira, a azeitona, é pequeno e com forma globosa e elipsoidal, ou seja, não é um redondo perfeito, sendo mais alongado nas pontas. Segundo King (1938), a azeitona pode ser considerada uma drupa, com características ovóides composta por um endocarpo, um mesocarpo (polpa), e também pelo exocarpo (a película e epiderme exterior). Conforme Bacelar et al. (2009), normalmente terá entre 1 a 4 cm de comprimento, 0,6 a 2 cm de diâmetro e o peso pode oscilar entre 1 a 2 gramas nos pequenos e de 10 a 20 gramas nos frutos grandes. A coloração dos frutos também poderá mudar e variar conforme a variedade, podendo transitar entre o verde e o preto.

Nas oito primeiras semanas após a fecundação, ocorrerá um aumento celular grande, assim como a divisão e expansão dessas células para a formação da semente e também do mesocarpo. Após os dois primeiros meses até à maturação, a divisão celular se reduz consideravelmente e as energias estão focadas para o incremento celular em tamanho e especialmente pela deposição de gordura nos tecidos (Rapoport & Moreno-Alías, 2017).

A semente começa seu desenvolvimento logo após a fecundação. O embrião começa a se desenvolver de forma rápida, e está pronto em cinco meses, sendo até capaz de germinar, fazendo com que nessa fase a semente já não sofra mais com mudanças estruturais, apenas ocorrendo mudanças fisiológicas no fim da maturação do fruto (Rapoport & Moreno-Alías, 2017).

#### 2.4.3.3. O ciclo bienal da oliveira

A oliveira frutifica no ramo formado no ano anterior, dessa forma ocorre uma sobreposição entre o crescimento vegetativo da planta e o desenvolvimento da

inflorescência que gerará o fruto (Rodrigues & Arrobas, 2011). Dessa forma, é comum ocorrer alternância na produção, ou safra e contra-safra, uma vez que no ano em que se estão desenvolvendo os frutos também se estão desenvolvendo os ramos que determinarão a produção do ano seguinte (Rodrigues & Arrobas, 2011).

Segundo Rodrigues & Correia (2009), a indução floral ocorre no ano anterior, cerca de 18 meses antes da colheita respectiva, e em simultâneo com a frutificação do ano em curso. É esta competição entre os processos reprodutivos de dois anos sucessivos que acaba por gerar o fenômeno de safra e contra-safra. Já que se a planta formar muitos frutos no ano em curso, isso limita os recursos para o desenvolvimento vegetativo comprometendo a floração no ano seguinte.

A definição das flores na planta também depende das boas reservas energéticas da planta, assim, quanto melhor a disponibilidade energética da planta, melhor será as chances de formar flores perfeitas que geram frutos (Rodrigues & Correia, 2009).

No ano em curso, o momento mais crucial para definir a produtividade é, segundo Rodrigues & Correia (2009), o vingamento dos frutos, uma vez que nas duas primeiras semanas após a floração ocorrerá queda massiva de flores e frutos. Sendo relevante também, mencionar que a intensidade da queda de flores e frutos dependerá muito do estado nutricional da planta. Ou seja, se no ano em questão a planta tiver muitas reservas energéticas, irá manter o maior número de frutos possível, em contrapartida irá gastar todas as suas reservas e ficará bem limitada para o ano seguinte, gerando assim a alternância (Rodrigues & Correia, 2009). Normalmente os frutos que perdurarem após julho, serão os que persistem até a colheita, sendo que uma planta pode produzir até 500.000 mil flores e que somente 1 a 2% de vingamento é necessário para uma boa safra (Rodrigues & Arrobas, 2011).

Para minimizar esses efeitos é importante alguns manejos que o olivicultor pode realizar. Os mais importantes sendo a irrigação do olival quando necessário, os cuidados com as podas, realizando-as nos momentos adequados e também os cuidados nutricionais da planta, sendo muito importante a adubação.

## 2.5. Adubação do olival

Para a adequada nutrição da planta é importante ter em mente que o solo é o principal recurso, sendo fonte principal de nutrientes para a planta. Cada solo terá suas características próprias, e dessa forma é indispensável realizar as análises para saber quais

nutrientes estão disponíveis no solo e quais não estão. Dentre as principais propriedades químicas a observar estão o pH, a capacidade de troca de cátions (CTC), a disponibilidade de nutrientes, salinidade e a presença de substâncias tóxicas (Fernández-Escobar, 2017).

A análise de solos irá revelar todas essas propriedades químicas citadas anteriormente, porém não fornecerá todos os dados necessários para a recomendação técnica de adubação. Deverá ser levado em consideração também o estado nutricional da planta. Sendo assim, é recomendado se realizar juntamente com a análise de solo, a análise dos tecidos vegetais, que na oliveira é utilizada a folha. Rodrigues & Arrobas (2013) afirmam que estas duas análises devem ser utilizadas de forma complementar, a fim de se obter o máximo de informações necessárias para a recomendação de fertilização.

Freeman et al. (2005) apontam que além da análise nos solos e nos tecidos vegetais é fundamental observar o aspecto visual da folha. Sendo útil ter conhecimentos básicos sobre sintomatologia visual de carências nutricionais em oliveira e assim conhecer os limites de determinados nutrientes.

Para a oliveira, a nível de análise foliar já se tem categorizado os níveis críticos mínimos para o adequado desenvolvimento da planta e também os níveis máximos antes que gere toxicidade (Freeman et al., 2005). É muito importante que a análise seja realizada no momento adequado que, segundo Freeman et al. (2005), ela deve ser feita entre o final de junho até meados de agosto (no hemisfério norte), por ser nesse período que as concentrações minerais têm maior significado biológico. Os resultados da análise atual das folhas devem ser comparados com os níveis críticos apresentados na tabela 03 para o diagnóstico nutricional da planta.

Já nos solos, serão observadas propriedades relacionadas às suas características físicas e químicas e em particular à disponibilidade potencial de alguns elementos. Em Trás-os-Montes, segundo Rodrigues & Arrobas (2013), os olivais são comumente encontrados em encostas em que os solos são de origem xistosa, sendo ácidos a ligeiramente ácidos e apresentando teores de matéria orgânica baixos. Dessa forma, é comum que os solos dessa região tenham dificuldade em reter nutrientes, devido à baixa CTC. Os teores de fósforo tendem a ser baixos ou muito baixos e os teores de potássio médios a altos, apresentando-se, os teores de boro cronicamente baixos (Rodrigues & Arrobas, 2013).

Tabela 3. Concentrações críticas dos nutrientes expresso em matéria seca. Adaptado de Freeman et al. (2005).

<b>Elemento</b>	<b>Nível crítico</b>	<b>Concentração em g kg<sup>-1</sup></b>
Nitrogênio	Deficiência	<14
	Adequado	15 a 20
Fósforo	Adequado	1 a 3
Potássio	Deficiência	4
	Adequado	8
Magnésio	Adequado	1
Cálcio	Adequado	10
Boro	Deficiência	0,014
	Adequado	0,019 a 0,15

secundários e micronutrientes (Alcobia & Ribeiro, 2001). Nitrogênio, fósforo e potássio são classificados como macronutrientes principais, cálcio, magnésio e enxofre como macronutrientes secundários e boro e ferro, por exemplo, como micronutrientes.

Nitrogênio, é necessário para o crescimento vegetativo da planta. Sua falta irá originar folhas pequenas, cloróticas e com queda precoce. Seu excesso pode causar sensibilidade a pragas e doenças e um excesso de crescimento vegetativo (Alcobia & Ribeiro, 2001).

O fósforo é essencial para a multiplicação celular, sendo muito importante no desenvolvimento radicular, na qualidade da flor e no vingamento do fruto. Sua falta pode originar folhas de menor tamanho com coloração verde mais claro ou folhas normais, mas com coloração arroxeada (Alcobia & Ribeiro, 2001).

O potássio é um dos macronutrientes mais absorvidos pela oliveira, sendo importante para os processos de assimilação, respiração e movimento da água na planta. Com isso, as plantas deficientes em potássio serão menos resistentes ao frio, à seca e a ataque de doenças. Sua carência irá gerar plantas com menor crescimento vegetativo, folhas pequenas com clorose apical ou que se enrolam e também pode ocorrer a redução do tamanho do fruto (Alcobia & Ribeiro, 2001).

Cálcio intervém nos fenômenos de respiração e maturação, promovendo a firmeza do fruto. Sua carência irá gerar mau desenvolvimento radicular, clorose nas folhas especialmente as apicais. É importante notar que o excesso de cálcio no olival gera um desequilíbrio entre os demais nutrientes, assim quando se tem um excesso de cálcio, pode-

se ter uma dificuldade em absorver outros nutrientes como o magnésio, potássio e ferro (Alcobia & Ribeiro, 2001).

Magnésio, apesar de ser utilizado em menores quantidades, entra na composição da clorofila, sua deficiência irá gerar clorose intra-nervuras e uma desfolha precoce.

O boro é o nutriente de mais baixa mobilidade na planta. É importante por regular a absorção dos demais nutrientes e sua deficiência ocasiona irregularidade no crescimento e problemas de floração, polinização e vingamento do fruto. Os frutos podem surgir deformados e com queda precoce (Alcobia & Ribeiro, 2001).

## 2.6. Relação fungo-planta

### 2.6.1. Aspectos gerais

Os fungos são organismos que fazem parte dos eucariontes, podendo ser uni ou pluricelulares, formando estruturas filamentosas que são conhecidas como hifas, as quais em conjunto formarão uma rede, conhecida como micélio (Maia & Carvalho, 2010). Também são heterotróficos, por serem desprovidos de pigmentos fotossintéticos. Porém, ao contrário dos animais, o modo de obtenção dos nutrientes não será através da ingestão e sim por meio da digestão extracelular, graças a capacidade de secretar enzimas digestivas, que irão solubilizar os nutrientes, e então o fungo através das hifas conseguirá absorvê-los (Webster & Weber, 2006).

Conforme Ainsworth (1973), os fungos podem ser caracterizados como:

Nutrição - heterotróficos e por meio da absorção;

Estado vegetativo - no substrato, tipicamente como forma não móvel de micélio, porém podendo ocorrer mobilidade em estado reprodutível;

Parede celular - presente, comum ser de quitina, porém também pode ocorrer de celulose;

Núcleo - eucarionte, uni ou plurinucleado, haploide ou diploide;

Ciclo de vida - simples ou complexo;

Reprodução - sexuada, assexuada ou parassexuada;

Propágulo - esporos microscópicos produzidos em grande quantidade; e

Ecologia - saprófitos, simbiontes, parasitas ou hiperparasitas.

Devido a essas características e especialmente ao modo de nutrição, os fungos alcançaram habitats diversos e conquistaram papéis únicos na ecologia dos ecossistemas

(Webster & Weber, 2006). Devido ao seu aparato enzimático, os fungos são muito importantes para a reciclagem de resíduos vegetais, além de serem muito úteis para a alimentação humana, fabricação de bebidas e em associações com plantas (Krugner & Bacchi, 1995).

Podem existir diversos grupos de fungos, sendo que, segundo Hawksworth (2001), menos de 120 mil espécies das 1,5 milhões foram descritas até então. Em um trabalho colaborativo entre inúmeros pesquisadores da área são descritos sete filos, os quais podem ser identificados na figura 04. Dentre eles encontram-se Chytridiomycota, Blastocladiomycota, Neocallimastigomycota, Microsporídia, Glomeromycota, Ascomycota e Basidiomycota (Hibbett et al., 2007).

Mesmo com esta classificação ainda se apresentam muitas dúvidas sobre as classes, como a respeito dos Chytridiomycota, por apresentarem flagelos, ou sobre a veracidade do grupo microsporídia, por serem unicelulares. Alguns grupos já são melhores definidos em seus papéis, como os Glomeromycota, que são simbioses obrigatórios e formam as micorrizas arbusculares e não possuem reprodução sexuada. Já os demais, como Ascomycota e Basidiomycota, apresentam reprodução sexuada através de estruturas especializadas, ascos (Ascomycota) ou basídios (Basidiomycota) (Hibbett et al., 2007).

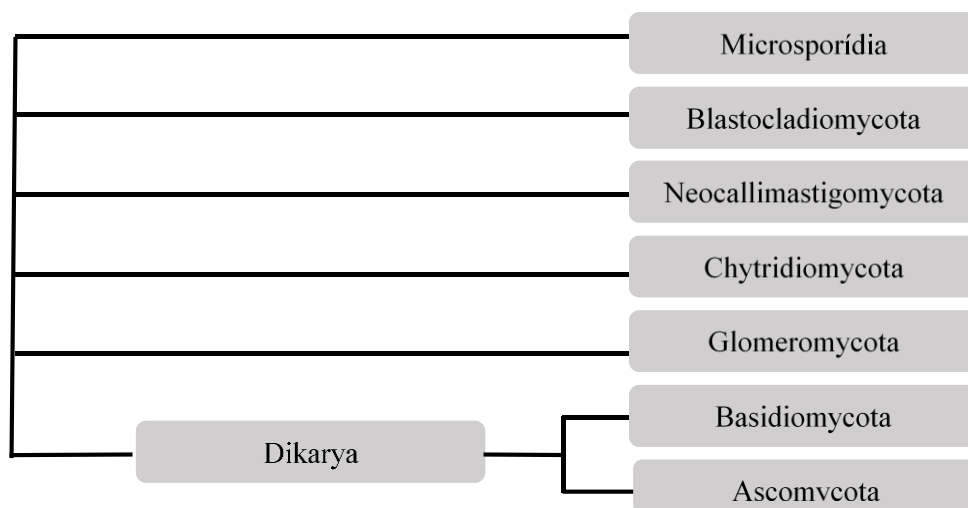


Figura 4. Filogenia e classificação dos fungos. Adaptado de Hibbett et al. (2007).

### 2.6.2. Fungos no solo

Os fungos representam um papel central nos processos microbiológicos que ocorrem no solo, podendo influenciar a fertilidade do solo através da decomposição da

matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. Além de desenvolverem uma relação com as plantas, que pode ser benéfica ou negativa. Os diferentes tipos de fungos, ao longo de milhares de anos, se especializaram em diferentes atividades, sendo que no solo, suas funções se dividem, segundo Finlay (2006), em saprofíticas, simbióticas ou parasitárias. Essas diferentes funções serão realizadas através da ação dos fungos se houver condições adequadas para o seu desenvolvimento (Warcup, 1951). Dessa forma, é necessário que haja substratos apropriados para o desenvolvimento de cada tipo de fungo (Finlay, 2006).

Eles irão se diferenciar, como já dito anteriormente, através da sua função, mas principalmente por meio das estratégias adotadas por cada grupo para adquirir seus compostos orgânicos (Finlay, 2006). Assim, os saprofíticos irão ser responsáveis pela degradação de todos os materiais orgânicos naquele meio. Porém, há uma sequência para essa degradação, iniciando com os patogênicos, que darão espaço aos saprofíticos pioneiros e que darão espaço aos fungos degradadores de polímeros. Esses serão capazes de degradar as celuloses e hemiceluloses presente nas paredes celulares das plantas (Garrett, 1981).

Já os patogênicos e fungos parasíticos irão obter seus nutrientes através da atuação como patógeno, causando assim uma doença na planta, podendo ou não a levar à sua morte. Porém, nem todos dessa classe são fungos de solos e nem todos permanecerão no solo, podendo sim se espalhar pela planta. O filo de maior representatividade nesse grupo são os oomicetos, responsáveis por cerca de 70% das doenças em plantas (Finlay, 2006). Estes fungos podem ser necrotróficos, se nutrindo dos tecidos já mortos da planta, ou biotróficos, que não causam a morte do hospedeiro apenas o debilitam, retirando deste o necessário para sua sobrevivência (Finlay, 2006).

O terceiro grupo, que adota uma estratégia bem distinta dos outros dois, são os simbiontes. Estes irão obter seus compostos orgânicos para sua sobrevivência através da simbiose com um outro organismo autotrófico, que na maioria dos casos são as plantas (Finlay, 2006). Segundo Rodriguez et al. (2004) podem existir dois grupos de fungos simbiontes, os endófitos, que irão colonizar internamente os tecidos das plantas podendo estar associados além das raízes, nas folhas e também nos caules. E os micorrizicos, que interagem apenas com as raízes, mas podem colonizar boa parte da rizosfera (Rodriguez et al., 2004). Os simbiontes também podem se dividir em grupos, como relações de comensalismo, mutualismo e parasitismo já tratados acima. No comensalismo, um dos organismos não é beneficiado, enquanto que no mutualismo ambos os organismos

envolvidos se beneficiam da união. Dessa forma, as micorrizas arbusculares, se encaixam como simbioses mutualísticas (Rodríguez et al., 2004).

É importante mencionar que para o desenvolvimento dos fungos e de qualquer outro microrganismo de solo, as raízes devem estar presentes, pois serão elas as responsáveis pela formação de um meio adequado para o desenvolvimento dos demais habitantes (Garrett, 1981). Segundo Garrett (1981) através de suas exsudações, liberação de energia e também por meio da eventual morte de raízes, o ambiente será nutrido com todos os fatores necessários para o crescimento e desenvolvimento de vida.

### 2.6.3. Fungos micorrizicos

A simbiose que ocorre entre uma planta e o fungo micorrizico como já citado anteriormente, é denominada de micorriza. Essa associação entre os dois organismos vivos é muito comum, ocorrendo em muitas espécies vegetais, tendo inclusive um papel ecológico muito importante, bem como as outras associações que ocorrem na natureza. Sua ocorrência se dá em aproximadamente 95% das plantas conhecidas (Smith & Read, 2008) e, devido a isso, entende-se que a formação micorrízica é considerada uma regra, não uma exceção (Mekahlia et al., 2013).

Ao se formar essa associação desenvolve-se o que é conhecido como superorganismo, devido à combinação de partes de dois organismos completamente distintos e que ao se unirem possuem um raio de atuação muito maior e mais eficaz. Como exemplo mais comum, é a expansão do sistema radicular que a micorriza causa nas plantas cultivadas (Smith & Read, 2008).

Dentre os fungos micorrizicos existem subdivisões, em que alguns autores citam duas (Souza et al., 2006) e outros três (Wilcox, 1996). Aqui trataremos como duas subdivisões, designadamente ectomicorrizicos e endomicorrizicos, sendo essa divisão feita devido à forma como ocorrerá a interação das hifas com as células da planta (Souza et al., 2006). Nas ectomicorrizas ocorre o envolvimento da hifa nas células, conhecida como rede de *hartig*, porém estas só permanecem intercelulares, nunca penetrando a célula. Este tipo de interação é mais comumente visto em espécies arbóreas e arbustivas do grupo das gimnospermas e algumas angiospermas (Souza et al., 2006). Os filamentos responsáveis são os basidiomycetos e alguns ascomycetos (Wilcox, 1996).

Já no grupo das endomicorrizas pode-se observar a penetração das hifas nas células (figura 05) e, ao contrário das ectomicorrizas, não haverá a presença de um manto

no solo, apenas as hifas e o micélio (Souza et al., 2006). Podemos dividir esse grupo em 3 subgrupos distintos, os ericóides, que ocorrerão apenas na família das ericaceae, os orquidóides, na família orquidaceae, e, por fim, os vesículo-arbusculares também conhecidas de micorrizas arbusculares (Hoffmann & Lucena, 2006).

Sendo o grupo das micorrizas arbusculares o mais comum e importante, por abranger cerca de 80% das espécies (Bonfante & Perotto, 1995). Inicialmente foram agrupados ao filo dos zygomycotas (Harley & Smith, 1983), porém com análises recentes os mesmos foram reclassificados em um grupo próprio, os glomeromycota (Harrison, 2005).

O grupo das micorrizas arbusculares ou como também são conhecidas, fungos micorrizicos arbusculares, são denominados dessa maneira devido a sua característica estrutural, por formarem estruturas como os arbúsculos e as vesículas no interior das células corticais. É relevante reportar que a infecção irá ocorrer somente em tecidos específicos da raiz, não atingindo meristemas ou tecidos vasculares (Bonfante & Perotto, 1995). Além de que, à medida que as novas células apicais da raiz vão crescendo o fungo tenderá a colonizá-las, ou seja, crescendo e se desenvolvendo juntamente com a planta (Smith & Read, 2008).

Mutualmente os simbioses irão se desenvolver e começarão a apresentar mudanças no mínimo morfológicas, no qual irão começar a manifestar as estruturas típicas desses fungos, os arbúsculos (Harrison, 2005). Dessa forma, irão se apresentar com uma nova aparência onde ocorrerá a troca de benefícios entre a planta e o fungo (Harrison, 2005). Dentre as trocas que ocorrem, é comum a planta fornecer ao fungo fotoassimilados que permitirão a este completar seu ciclo de vida, uma vez que os fungos micorrizicos são biotróficos, dessa maneira só sobrevivem quando em simbiose com a planta. Em troca irão fornecer à planta um aumento na absorção de água e nutrientes devido às longas hifas funcionarem como uma extensão do sistema radicular (Smith & Read, 2008).

A forma como ocorrerá a interação entre a planta e o fungo é iniciada por duas etapas simultâneas. Primeiramente, ocorrerá a germinação do esporo do fungo e ao mesmo tempo a planta libera exsudatos que atraem esse esporo já germinado (Reid, 1990). Dessa forma, o fungo é incentivado a ramificar suas hifas para próximo da epiderme radicular, este também irá liberar sinais químicos específicos para a simbiose. Uma vez na epiderme radicular (início da colonização) irão se formar estruturas de adesão (apressório). Após liberação de estímulos químicos e físicos pela planta, o fungo irá

começar a se desenvolver entre os espaços das células corticais, até penetrar na célula, onde finalmente irá desenvolver o arbúsculo ( Reid, 1990; Harrison, 2005; Smith & Read, 2008; Lanfranco et al., 2016). Tal estabelecimento pode ser observado na figura 05, que exemplifica a colonização e os importantes fluxos que ocorrem no solo.

É interessante constatar que apesar do fungo se desenvolver no interior da célula, este não será misturado ao citoplasma, permanecendo isolado pela membrana plasmática celular (Bonfante-Fasolo, 1984). Após a colonização, poderão começar a se observar os benefícios da simbiose, que afetará a absorção de nutrientes, o uso do carbono, características físicas e químicas do ambiente da rizosfera entre outras, melhor detalhadas no tópico seguinte.

A respeito da absorção dos nutrientes, Reid (1990) aponta que essa troca iônica ocorrerá através da difusão e fluxo de massa, independentemente de serem as hifas ou as raízes. O autor aponta que é comum que a micorriza se beneficie e cresça melhor em solos que não tenham os nutrientes disponíveis na fase aquosa do solo, mas sim que haja íons na fase sólida em reserva e não prontamente disponíveis. Porém, fatores como taxa de crescimento da hifa e a estirpe, podem sim influenciar na qualidade de absorção e eficiência da micorriza, sendo importante levar em consideração que cada estirpe é única e naturalmente pode não haver eficiência máxima em determinada espécie vegetal (Reid, 1990).

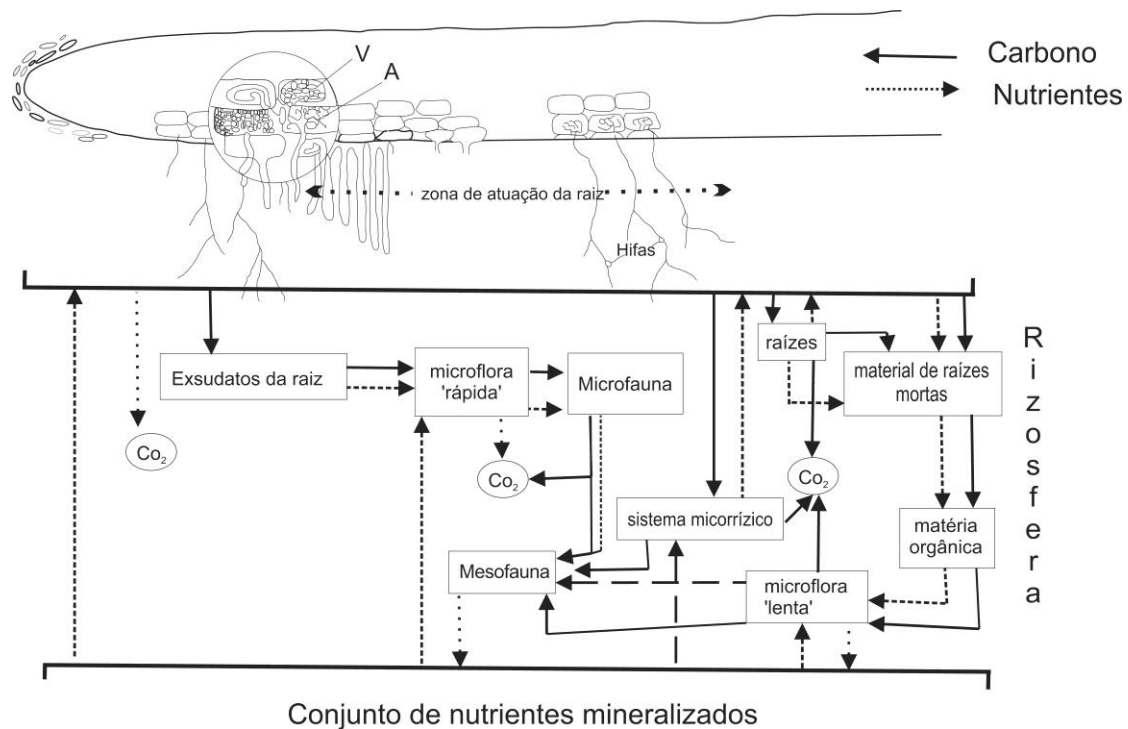


Figura 5. Diagrama de representação do fungo micorrizico arbuscular e importantes fluxos de nutrientes e carbonos na rizosfera. V = Vesícula, A = Arbúsculo. Adaptado de Coleman et al. (1983) e Reid (1990).

### 2.6.3.1. Estudos de utilização de micorrizas em plantas cultivadas

Inúmeras são as vantagens dos fungos micorrizicos para as plantas, sendo esses benefícios relatados e comprovados por inúmeros pesquisadores. Mohammadi et al. (2011) apontam que a interação será primária e determinante para a saúde da planta e também para o solo. A simbiose influencia a comunidade de plantas, permitindo que se desenvolvam melhor, através da criação de uma rede interligando as plantas e atuando na nutrição, na absorção de água e, conseqüentemente, na produtividade final (Mohammadi et al., 2011).

Também se observa uma maior tolerância da planta a patógenos do solo (Dag et al., 2009; Meddad-Hamza et al., 2010; Kumari et al., 2017; Ouledali et al., 2018). A presença de fungos patogênicos em plantas micorrizadas é consideravelmente menor do que nas plantas não micorrizadas, tendo como consequência uma menor incidência de doenças nas plantas que apresentam a associação. Diversos são os motivos para essa tolerância, alguns apontados por Dantas et al. (2009) são, nutrição da planta, alteração na morfologia e fisiologia da raiz, e competição física por espaço.

Yamagiwa et al. (2011) em sua pesquisa comprovam os efeitos benéficos dos fungos promotores de crescimento, através da ação de um sesquiterpeno, que combate e inibe o fungo patogênico *Colletotrichum higginsianum* e também por aumentar significativamente o crescimento da planta (*Brassica campestris* L. var. *perviridis*). Werner et al. (2016) em seus estudos com compostos orgânicos voláteis, apontam sobre a capacidade do fungo de emitir sinais que podem afastar outros fungos, especialmente os patogênicos e até inclusive utilizar esses compostos emitidos para modificar as raízes das plantas.

Sun et al. (2015) estudaram o poder dos fungos micorrizicos de emitirem compostos voláteis capazes de modificar as raízes e obtiveram sucesso. Os autores observaram que ao estimularem plantas de *Lotus japonicus*, essas tiveram um maior crescimento de raízes laterais, comprovando também a habilidade das micorrizas de mudarem a morfologia das raízes.

Outros estudos realizados com fungos simbiotes são sobre a tolerância a metais pesados. Gildon & Tinker (1983) estudaram a ação de metais pesados sobre as plantas micorrizadas e puderam observar que, mesmo em diferentes espécies, as micorrizas conseguem reduzir significativamente a concentração de metais pesados na parte aérea

da planta. Os autores apontam que é possível tal benefício mesmo com o tamanho e comprimento das hifas reduzidos, devido aos solos com esse tipo de contaminação. Outros trabalhos similares foram realizados por Zhan et al. (2018) que observaram em milho que a micorriza limitou a transferência de metais pesados para a parte aérea, permanecendo uma concentração maior desses metais apenas nas raízes. Muthukrishnan, et al. (2018) descrevem o funcionamento das micorrizas contra os metais pesados.

Nos fatores abióticos, as micorrizas também terão seu papel. Millar & Bennett (2016) descrevem que apesar de ser difícil determinar a ação das micorrizas sob condições adversas, é clara a presença das mesmas. Os autores apresentam duas hipóteses para a atuação das micorrizas nesse cenário, ou as mesmas iriam decrescer em um cenário sob estresse contínuo ou elas iriam evoluir e se adaptar para manter suas ações.

Rodriguez et al. (2004) também estudaram o comportamento das micorrizas em ambientes estressantes e apresentaram hipóteses que batem com as de Millar & Bennett (2016). Os autores apontam que após a planta sinalizar algum tipo de estresse, o fungo micorrizico irá imediatamente se adaptar e mandar sinais que inibem o estresse.

Dentre as pesquisas sobre a absorção de nutrientes, pode-se encontrar inúmeros trabalhos. Como, Ortas & Bykova (2018), que em um estudo de dois anos a campo com trigo, observaram aumentos nas taxas de absorção de fósforo, ferro, cobre, zinco e manganês e um ganho em grãos e, conseqüentemente, em produtividade.

Marschner & Dell (1994) apontam a importância das micorrizas para a nutrição, podendo estas ser responsáveis por 80% do fósforo nas plantas, 25% do nitrogênio, 10% do potássio, 25% do zinco e 60% do cobre. De acordo com os autores, a efetiva aquisição de fósforo através das hifas das micorrizas se dá por três principais motivos, designadamente: a capacidade da hifa de formar polifosfatos e, com isso, manter uma baixa concentração de fósforo naquela região; ao micro diâmetro das hifas, permitindo contato com maior volume de solo; e produção de fosfatases ácidas, que são capazes de catalisar e liberar fósforo dos complexos orgânicos do solo.

Outros autores também estudaram a respeito da nutrição. Ortas et al., (2015) pesquisaram sobre a absorção em mudas de citros, com diferentes estirpes de fungos micorrizicos, tendo observado que ambos aumentaram significativamente a obtenção de nutrientes, especialmente de fósforo e zinco. Porém, não são todos os trabalhos favoráveis a esse benefício. Berdeni et al. (2018) não encontraram ganhos nutricionais para variedades de maçã, contradizendo as pesquisas anteriores, os mesmos também não

observaram significância na quantia de frutos ou flores, somente o benefício de resistência a patógenos.

O papel desses fungos no solo vai além de processos químicos, como já mencionado anteriormente. A associação também colabora com a estabilidade de agregados (Tisdall, 1991; Tisdall, 1994; Wright & Upadhyaya, 1998), ou seja, auxiliando em estruturar o solo como um todo, fazendo com que os processos físicos sejam aprimorados, tendo relação direta com a infiltração e retenção da água no solo, trocas gasosas, redução de processos erosivos e finalmente favorecendo o crescimento radicular da planta.

Esse benefício físico está relacionado a fatores bioquímicos, já que o fungo micorrizico é responsável por secretar através de suas hifas uma glicoproteína conhecida como glomalina. Essa proteína pode ser secretada para o solo, ali permanecendo, ou ficar na parede celular das hifas até que estas se degradem e finalmente se tornem parte do solo como composto (Braghirolli et al., 2012). Sua ocorrência se dá na zona de atuação das raízes, a rizosfera, onde o fungo micorrizico irá estar presente, já que é onde se encontra também a ação das raízes das plantas. Sendo esse ambiente mutável, conforme é explicado por Dantas et al. (2009), que afirmam que o solo será influenciado diretamente pelo tipo, composição e umidade que há no mesmo.

#### 2.6.3.2. Estudos de utilização de micorrizas em oliveira

A interação planta-fungo remonta a tempos muito antigos, sendo que desde os primeiros registros com espécies terrestres já havia vestígios dessa associação (Remy et al., 1994). Naturalmente, para espécies antigas como a oliveira, que já são cultivadas há milhares de anos, também há relatos de micotrofia. Inúmeros são os estudos que demonstram os benefícios da associação entre espécies arbóreas e frutíferas de modo geral, dentre alguns destacando a relação do crescimento e sobrevivência das espécies (Calvente et al., 2004; Wu & Zou, 2012; Sousa et al., 2013).

Não sendo diferente para a oliveira, inúmeros são os benefícios observados. Como o rápido desenvolvimento da planta que, quando inoculada ainda cedo, pode contribuir para um melhor estabelecimento da planta no campo quando transplantada (Kumari et al., 2017). Além de garantir um desenvolvimento mais rápido, bem como ajudar a combater fungos ou doenças comuns em mudas (Kumari et al., 2017). Segundo os mesmos autores, esse conhecimento sobre as vantagens trazidos pela associação garantem uma otimização

dos processos de produção, tanto da muda quanto do pomar, visando um desenvolvimento superior das plantas ainda em fase de viveiro.

Dentre os estudos com a espécie e a micorriza, são encontrados inúmeros registros, que vão desde a comprovação da simbiose (Vieira et al., 2011), mudanças morfológicas que as micorrizas podem causar na planta (Citernesi et al., 1998), passando pelo conhecimento dos benefícios, como redução do estresse pós transplante e aclimatação da planta (Binet et al., 2007; Dag et al., 2009; Meddad-Hamza et al., 2010), tolerância à seca (Mekahlia et al., 2013; Ouledali et al., 2018), absorção nutricional (Porras-Soriano et al., 2009; Chatzistathis et al., 2013; Bati et al., 2014), aspectos relacionado a mudanças bioquímicas (Mechri et al., 2014), resistência a patógenos de solos (Castillo et al., 2006) e inúmeros outros benefícios que essa simbiose pode trazer.

Dag et al. (2009) em um estudo com 12 cultivares de oliveira, observou que dentre as que foram inoculadas em fase de viveiro se desenvolveram melhor, com maior crescimento tanto de altura, quanto de raiz. Os mesmos autores também constataram que ao serem transplantadas, essas tinham melhor desenvolvimento. Porém, os mesmos destacaram que diferentes variedades responderam de forma desigual aos fungos. Calvente et al. (2004), em seus estudos, comprovam tal dissemelhança, ao analisar duas variedades e uma série de fungos nativos, observando que alguns possuem melhor efeito micorrizico que outros.

Citernesi et al. (1998), num estudo morfométrico, puderam observar em estacas de oliveiras que a inoculação de fungos micorrizicos ajudou a estabelecer o sistema radicular e a promover seu crescimento inicial. Dessa forma, a micorriza também pode modificar as raízes e, com isso, melhorar o estabelecimento da planta no transplante, como já reportado acima.

Normalmente são utilizados fungos micorrizicos comerciais para se realizar a inoculação e, comumente, apresentam resultados muito satisfatórios, como a tolerância à seca. Ouledali et al. (2018) submeteram plantas de oliveira a 40 dias de seca e puderam observar que aquelas inoculadas com fungo micorrizico tinham melhor tolerância, maior turgor de célula e também uma atividade estomática bem superior.

Outros estudos que comprovam os benefícios das micorrizações, são os de Castillo et al. (2006), no qual expuseram um benefício muito importante, a de tolerância a patógenos de solo. No experimento, os autores submeteram diferentes variedades de oliveira a dois nematoides de solo que debilitam a planta, podendo observar que as que foram previamente inoculadas com fungo micorrizico não foram tão afetadas quanto as

que não foram inoculadas. Também observaram que o tamanho da planta inoculada foi maior e as raízes apresentavam menos formação de galha, indicando assim, um efeito protetor das micorrizas.

Em relação à nutrição é muito comum se observar estudos que mostram os benefícios que a micorrização pode trazer. Porras-Soriano et al. (2009) descrevem os inúmeros benefícios nutricionais desses fungos e destacam a tolerância à salinização, fazendo com que as plantas, mesmo nessas situações, pudessem desenvolver hastes e brotos de bom tamanho. Já Bati et al. (2014) estudaram o comportamento de micorrizas em solos contaminados com manganês, no qual plantas com a simbiose apresentavam redução considerável de tal elemento. Também observaram uma concentração de metais pesados bem menor.

## 2.7. Biodisponibilidade dos nutrientes e biofertilizantes

Um nutriente disponível é aquele que está presente na solução do solo e pode se mover para o sistema radicular. Para que o nutriente possa ser absorvido deve passar por algumas etapas. Primeiro, deve ser solubilizado, passando da fase sólida do solo para a solução, somente assim estará em uma posição adequada para ser absorvido pela raiz da planta. Em seguida, poderá ser absorvido e então translocado e redistribuído para que desempenhe sua função (Comerford, 2005).

A definição da biodisponibilidade de nutrientes do solo diz respeito à capacidade do sistema solo-planta em fornecer os nutrientes essenciais para uma planta, ou um conjunto de plantas, por um dado período de tempo (Comerford, 2005). A forma como os nutrientes são absorvidos é importante para a adequada translocação e para o desempenho das suas funções bioquímicas (Barber, 1995).

Uma solução nutritiva bem equilibrada deve disponibilizar para a planta os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S e os micronutrientes B, Cu, Fe, Mo, Mn, Zn e Cl em quantidades que venham suprir sua demanda para o adequado crescimento e desenvolvimento da planta. Cada um desses nutrientes pode ser absorvido em formas iônicas diferentes, porém sempre visando a máxima eficiência de absorção. Ao adubar uma planta normalmente é disponibilizado o nutriente em formas solúveis e de fácil absorção.

Entretanto a prática de adubação não favorece a exploração do solo pelo sistema radicular, uma vez que a quantidade absorvida de nutrientes é proporcional à superfície existente de raiz. Dessa forma, uma rizosfera ampla assegurará uma maior absorção de nutrientes. Drew (1975) estudou a aplicação localizada de nutrientes em cevada. Os resultados confirmaram que a prática de disponibilizar o nutriente de forma superficial e localizada desestimula o sistema radicular a se expandir, ficando também concentrado na região onde se encontram os nutrientes. Assim, em uma situação adversa de falta de água ou nutrientes, uma planta com sistema radicular melhor desenvolvido, que explore melhor o solo, se sairá muito melhor, sendo isso particularmente importante para espécies perenes e arbóreas como é o caso da oliveira.

Lembrando que o crescimento radicular é determinado por uma série de fatores, como genéticos, hormonais (disponibilidade de fotoassimilados) e, principalmente, aos relacionados ao solo (textura, estrutura, umidade e especialmente o pH, pôr o crescimento

radicular estar restrito a valores entre 5,5 a 6,5, a alternativa de micorrização da planta parece lógica, já que o fungo irá desempenhar o papel de busca pelos nutrientes).

Sendo assim, o uso de biofertilizantes se apresenta como uma alternativa com muito potencial para a nutrição das plantas de uma forma mais harmoniosa com o ambiente e garantindo uma fertilização e nutrição natural quando associada aos fungos micorrizicos. Podem também ser uma alternativa, ou forma de complementação, aos agroquímicos convencionais, uma vez que estes vêm se tornando cada vez mais caros (Herrmann & Lesueur, 2013).

De acordo com Herrmann e Lesueur (2013) o termo biofertilizante refere-se a um produto para ser aplicado na agricultura visando o crescimento das plantas e que em sua composição se podem encontrar microrganismos benéficos. Vessey (2003) caracteriza o biofertilizante como uma substância que contém microrganismos vivos que, ao ser aplicado nas sementes, superfícies de plantas ou no solo, irá colonizar a rizosfera ou o interior da planta e promover o crescimento, aumentando a oferta ou a disponibilidade de nutrientes primários para a planta.

O uso de biofertilizantes está se tornando cada vez mais comum, especialmente seu uso associado aos fungos micorrizico (Herrmann & Lesueur, 2013). Vale ainda ser destacado que, por se tratar de organismos vivos, podem ser fabricados *on farm*, de uma maneira artesanal, onde o produtor saberá exatamente o que está sendo colocado no produto e com um custo mais baixo, garantindo dessa forma um maior retorno econômico (Czerniak & Stürmer, 2014).

### 3. Material e métodos

#### 3.1. Caracterização e implantação do experimento

O presente estudo foi realizado no distrito de Bragança, região de Trás-os-Montes, no nordeste de Portugal. O trabalho decorreu em estufa no Campus do Instituto Politécnico de Bragança (IPB) na localização indicada na figura 06.



Figura 6. Localização das estufas. Google earth (2018).

As estufas são de policarbonato de parede dupla e com aberturas laterais e superior para melhor dissipação do calor. Dispõem ainda de regulação térmica e umidade através de telas de sombra e nebulizadores.

O experimento foi instalado em 12 de outubro de 2017, sendo organizado em delineamento inteiramente casualizado, com sete tratamentos e três repetições (figura 07).

Os tratamentos utilizados foram:

Micorriza, na dose de 15 g por vaso (o produto comercial vem enriquecido com 3% N, 3%  $P_2O_5$  e 3%  $K_2O$ );

3% NPK, suplemento com NPK equivalente aos teores no produto comercial (0,45 g N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  por vaso);

3%NPK + 3% N, reforço da adubação nitrogenada com 0,45 g N por vaso;  
3%NPK + 3% P, reforço da adubação fosfatada com 0,45 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por vaso;  
3%NPK + 3% K, reforço da adubação potássica com 0,45 g K<sub>2</sub>O por vaso;  
3%NPK + micro, reforço da adubação com micronutrientes; e  
Testemunha, sem aplicação de qualquer produto fertilizante.

Os micronutrientes foram aplicados usando uma mistura comercial contendo 10% MgO, 0.3% B, 18.5 % SO<sub>3</sub>, 0.3 % Cu, 2 % Fe, 1 % Mn, 0.02 % Mo, 1.6 % Zn aplicado à razão de 0.08 g vaso<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Foram selecionadas mudas sadias de oliveira da variedade Cobrançosa com aproximadamente 20 cm de altura. As plantas foram acomodadas em vasos de plástico com capacidade de 2,5 L, tendo recebido 3 kg de terra fina seca. O aspeto dos vasos organizados por tratamento pode ser observado na figura 07.

A micorriza inoculada foi a Roots M-Roots 3-3-3<sup>®</sup> da marca comercial LebanoTurf. O produto é descrito como uma mistura natural composto por 18 espécies de endo e ectomicorrizas. Sendo a com maior quantia de esporo/grama a *Pisolithus tinctorius* (ectomicorriza), possuindo ainda outros gêneros como *Rhizopogon*, *Scleroderma*, *Laccaria* e uma série de organismos do género *Glomus* (endomicorrizas). A aplicação do produto seguiu as especificações da embalagem para a situação.



Figura 7. Distribuição do delineamento experimental na estufa.

As plantas foram mantidas em estufa durante todo o período decorrido da experiência até o seu corte. As mesmas foram regadas regularmente conforme a necessidade da planta, buscando sempre manter a umidade adequada para as mudas. Também foram retiradas as infestantes de forma manual conforme necessidade.

As plantas foram cortadas no dia nove de outubro de 2018, e separadas em raízes, caules e folhas. Na mesma data foi também separada uma amostra de solos, obtida homogeneizando a totalidade da terra do vaso. As amostras de tecidos vegetais foram identificadas em sacos plásticos e enviadas para laboratório onde foram secas em estufa de ventilação forçada regulada a 60°C. Posteriormente foram moídas e submetidas a análise elementar. Os solos foram secos em estufa regulada a 40 °C, e crivados em malha de 2 mm antes de se proceder às análises laboratoriais.

### 3.2. Medições *in situ*

Durante o crescimento das mudas avaliou-se a performance fotossintética das plantas utilizando o fluorômetro portátil OS30p (Opti-Scinces inc, 2012). O dispositivo é capaz de medir a fluorescência da clorofila através de um protocolo de adaptação ao escuro. Por isso foram colocados grampos específicos nas folhas selecionadas para que ficassem pelo menos 30 minutos ao escuro (figura 08.a). Foram selecionadas para o teste as folhas jovens com o limbo completamente expandido, por essa razão foram escolhidas as folhas do terço superior (figura 08.b).



Figura 8. a) Grampo em folha jovem de oliveira; b) Medição da fluorometria da clorofila.

Com o equipamento foram medidos os parâmetros  $F_V/F_M$ ,  $F_V/F_0$  e também o teste JIP (Opti-Scincesinc, 2012).  $F_M$ ,  $F_0$  e  $F_V$ , são, respectivamente, fluorescência máxima, mínima e variável de folhas adaptadas ao escuro. Já o teste JIP fornece a fluorescência de base a 20  $\mu$ s (O), a fluorescência a 2 ms (J), a fluorescência a 30 ms (I) e a fluorescência máxima (FM).

$F_V/F_M$ , é a relação entre a fluorescência variável e a fluorescência máxima. Enquanto que  $F_V/F_0$ , diz respeito à relação entre a fluorescência variável e mínima.

### 3.3. Análises nas amostras de solos

Para a realização das análises nos solos, os mesmos foram previamente crivados e secos em estufa como já foi referido. As análises realizadas nos solos foram pH, fósforo e potássio extraíveis, parâmetros de caracterização do complexo de troca, ou da capacidade de troca catiônica, como cátions não ácidos ou bases de troca ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) e também a acidez de troca ( $Al^{3+}$ ), sendo que a partir dessas informações se calculou também a capacidade de troca catiônica efetiva. Além dessas análises também foi realizada a determinação do boro, a atividade da fosfatase ácida e frações de fósforo lábil.

#### 3.3.1. Determinação do pH

O pH do solo foi determinado numa suspensão de solo com solução de água e de KCl 1M na relação de 1:2,5. Após duas horas de contato entre o solo e as soluções e com agitação ocasional (Reeuwijk, 2002), fez-se a leitura em equipamento *Inolab Level 1 WTW*.

#### 3.3.2. Fósforo lábil

Fósforo foi extraído com membranas de troca aniônica, que foram previamente seccionadas em partes de 40mm x 20mm. Estas membranas ou resinas de troca foram primeiro carregadas com cargas positivas. Para isso, foram deixadas 24 horas em solução  $NaHCO_3^-$  0,5M para atingirem a saturação.

No dia seguinte, pesou-se 1 g de solo e adicionaram-se 20 ml de água e então introduziu-se a resina, como pode ser visto na figura 9. Em seguida, os frascos foram agitados por 8 horas a 180 rotações por minuto (rpm). Seguida da agitação, as resinas foram transferidas para outro frasco contendo 20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5M, onde foram deixadas por 24 horas para que o fósforo pudesse ser extraído. Após filtração, o fósforo foi lido por espectrofotometria no comprimento de onda de 882 nm.



Figura 9. amostras de solo com adição da resina.

### 3.3.3. Determinação de fósforo e potássio extraíveis

As formas solúveis de fósforo e potássio foram extraídas através do método Egner-Riehm por uma combinação de lactato de amônio com ácido acético tamponizado a pH de 3.7 (Balbino, 1968). Para esta análise foi utilizada uma porção de solo:solução de 1:20.

O fósforo foi medido por espectrofotômetro UV/VIS no comprimento de onda 882 nanometro (nm) após a determinação colorimétrica com o método de ácido ascórbico como agente redutor. Já o potássio foi determinado por fotometria de chama num equipamento *jenway*.

### 3.3.4. Determinação da capacidade de troca catiônica

A capacidade de troca catiônica consiste na soma das bases de troca (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>) e acidez de troca (Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup>). A análise determina a máxima quantidade de

cátions que a unidade de massa de um material pode reter sob forma permutável (Madeira & Ricardo, 2015).

Para isso, 2,5 g de amostra de solo foi pesada e extraída com uma solução de acetato de amônio tamponada a pH 7.0. Para a leitura do  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foi utilizada a espectrofotometria de absorção atômica, com o equipamento *PYE Unicam PU 9100X*. Já  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  foram medidos por espectrofotometria de chama *jenway*.

A determinação da acidez de troca dos solos consistiu em misturar 10 g de solo com uma solução de KCl 1M (100 ml) e agitar por 30 minutos a 180 rpm. A seguir filtrou-se e com NaOH 0,1M fez uma titulação para determinação de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ . Também foi feita uma segunda titulação com HCl 0,1M, para determinação somente de  $\text{Al}^{3+}$ . Para a primeira titulação o indicador foi a fenolftaleína, já para o segundo foi o cloreto de potássio (Sims, 1996).

### 3.3.5. Atividade da fosfatase ácida

Pesou-se 1,0 g de solo para um erlenmeyer e adicionou-se 0,2 ml de tolueno, 4 ml de solução MUB (*Modified Universal Buffer*) em pH 6,5 e 1 ml de p-nitrofenil-fosfato.

Os frascos foram tapados com parafilmes e levemente agitados. Em seguida foram introduzidos em uma incubadora a 37 °C por 1 hora. Após, adicionou-se 1 ml de  $\text{CaCl}_2$  0,5M e 4 ml de NaOH 0,5M, sendo depois levemente agitados e filtrados com papel de filtro Watman #42.

Para todas as amostras foi feito um controle, seguindo a mesma metodologia, mudando apenas o momento de adição do p-nitrofenil-fosfato, sendo este adicionado por último. Após filtrados, a atividade da fosfatase ácida foi determinada por espectrofotometria UV/VIS num comprimento de onda de 400 nm (Tabatabai & Bremner, 1969).

### 3.3.6. Determinação do boro no solo

Para a determinação do boro no solo utilizou-se o método de água fervente seguido por reação com azometina – H, proposto por Wolf (1974). A uma alíquota do extrato foi adicionada uma solução de desenvolvimento de cor com azometina – H e ácido ascórbico. Para a leitura, as amostras foram ao espectrofotômetro UV/VIS a 430 nm (Jones, 2001).

### 3.4. Análise dos tecidos vegetais

O material vegetal foi separado em caule, folhas e raízes e então, pesado verde. Também foi realizado os cálculos de parte aérea e totalidade da planta a partir do somatório dos diferentes componentes. A seguir foram secos em estufa de ventilação forçada (Memmert) regulada para 60 °C, como já foi referido. Em seguida, as amostras foram moídas em moinho *Cyclotec* da marca *Foss*, em malha de 1 mm.

Com todas as partes da planta já secas e moídas foi determinada a sua composição elementar, designadamente, nitrogênio, fósforo, potássio, boro, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e manganês.

#### 3.4.1. Determinação de nitrogênio

Utilizou-se o procedimento Kjeldahl, no qual o nitrogênio é medido através da digestão da amostra e posteriormente feita a leitura em equipamento *UDK152 Distillation & Titration Unit*.

Para a digestão, 1 g de material vegetal foi pesado e aquecida com 15 ml de ácido sulfúrico a 400 °C para promover a oxidação da amostra. Também foi adicionado um catalisador para aumentar a taxa de oxidação da matéria orgânica pelo ácido sulfúrico. Com a amostra já digerida, o nitrogênio amoniacal foi determinado por destilação com solução de ácido bórico 4%, hidróxido de sódio 40% e os indicadores verde de bromocresol e vermelho de metila (Bremner, 1996).

#### 3.4.2. Determinação de boro

O boro nas plantas foi determinado após a incineração das amostras (de 1 g) com óxido de cálcio e diluição das cinzas em ácido sulfúrico (0,5M). Para a coloração utilizou-se azometina – H e depois a leitura foi feita num espectrofotômetro a 420 nm (Jones, 2001).

### 3.4.3. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês

Os demais micronutrientes foram analisados após a pesagem de 0,25 g de material vegetal e digestão em micro-ondas (*MARS, CEM corporation*) com ácido nítrico.

O fósforo foi determinado por espectrofotometria UV/VIS no comprimento de onda de 882 nm, após coloração pelo método do ácido ascórbico. O potássio foi determinado por espectrofotometria de chama e os demais nutrientes por absorção atômica.

### 3.5. Análise dos dados

Os dados coletados foram submetidos a ANOVA para verificar as variações entre tratamentos. Em seguida, aplicou-se o teste de tukey ( $\alpha > 0,05$ ). O *software* estatístico utilizado para a realização das análises foi o “GENES” (Cruz, 2013).

## 4. Resultados

### 4.1. Parâmetros de fluorescência das clorofilas

Os parâmetros medidos de fluorescência da clorofila *a* e da fluorescência transiente OJIP no dia 27 de setembro de 2018, são apresentados na tabela 04. Pode observar-se que não ocorreram diferenças significativas entre nenhum dos testes. A relação  $F_v/F_M$  apresentou valores a variar entre 0,83 e 0,84.

No caso da relação  $F_v/F_0$ , esta é considerada mais precisa, por levar em consideração a fluorescência variável com a mínima. Com isso, é possível detectar com maior precisão situações de estresse. Os valores variaram pouco, com o mínimo de 5,00 para a micorriza e 5,24 para o tratamento 3% NPK + 3% K.

Os valores OJIP também são uma forma de medir o estresse nas plantas quando este atinge o fotossistema 2. Para todos os parâmetros OJIP os menores valores registaram-se sempre com a micorriza, sendo 234,67 para O, 396,33 para J, 850,67 para I e 1066,67 para P. Os maiores valores foram de 262,00 para 3% NPK, 437,67 para a Testemunha. Para I o maior valor foi registado em 3% NPK com 916,67 e para o P o maior valor foi em 3% NPK + 3% K com 1159,33.

Tabela 4. Parâmetros medidos e estimados de fluorescência da clorofila *a* e da fluorescência transiente OJIP.

Tratamentos	O	J	I	P	$F_v/F_M$	$F_v/F_0$
Testemunha	255,00 a	437,67 a	882,33 a	1104,67 a	0,83 a	5,08 a
Micorriza	234,67 a	396,33 a	850,67 a	1066,67 a	0,83 a	5,00 a
3% NPK	262,00 a	426,33 a	916,67 a	1146,33 a	0,84 a	5,14 a
3% NPK + 3% N	246,00 a	415,33 a	896,00 a	1135,00 a	0,84 a	5,20 a
3% NPK + 3% P	255,00 a	425,67 a	892,67 a	1135,00 a	0,84 a	5,11 a
3% NPK + 3% K	249,33 a	423,00 a	919,67 a	1159,33 a	0,84 a	5,24 a
3% NPK + micro	255,00 a	412,00 a	857,50 a	1098,50 a	0,83 a	5,04 a
C.V. %	7,66	5,69	4,86	3,68	0,31	3,13

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

### 4.2. Produção de biomassa

Na tabela 05 pode observar-se a massa seca de caules, folhas e raízes, bem como da parte aérea e da totalidade da planta.

Como pode ser visto, a única parte da planta onde houve diferenças estatísticas foi a raiz. Observou-se que o tratamento com suplementação de 3% NPK obteve a maior massa seca em raiz. Porém esse valor não difere da testemunha nem dos tratamentos com 3% NPK + 3% P e 3% NPK + 3% K. O tratamento que apresentou matéria seca mais baixa na raiz foi 3% NPK + 3% N com 3,62 g, sendo o segundo menor valor o da micorriza, com 3,88 g, valores esses que não diferiram estatisticamente entre si. As diferenças também não são significativas para os tratamentos 3% NPK + micro, 3% NPK + 3% P nem do 3% NPK + 3% K.

Tabela 5. Matéria seca das diferentes partes da planta em função dos tratamentos fertilizantes

Tratamentos	Matéria seca (g planta <sup>-1</sup> )				
	caules	folhas	raízes	parte aérea	planta total
Testemunha	9,02 a	8,12 a	5,39 ab	17,14 a	22,52 a
Micorriza	9,57 a	9,73 a	3,88 bc	19,30 a	23,18 a
3% NPK	10,22 a	9,06 a	6,04 a	19,28 a	25,32 a
3% NPK + 3% N	8,52 a	8,42 a	3,62 c	16,94 a	20,56 a
3% NPK + 3% P	9,26 a	9,01 a	4,92 abc	18,27 a	23,19 a
3% NPK + 3% K	10,43 a	9,66 a	4,78 abc	20,09 a	24,87 a
3% NPK + micro	10,37 a	9,64 a	4,20 bc	20,01 a	24,21 a
C.V. %	16,88	8,78	13,38	12,03	10,45

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

#### 4.3. Concentração de nutrientes nos tecidos

Na tabela 06 apresenta-se a concentração dos macronutrientes no caule. O cálcio, magnésio e potássio não variaram significativamente entre tratamentos. Para o nitrogênio observa-se diferença estatística, sendo que a testemunha apresentou os valores mais baixos. O tratamento com micorriza não diferiu da testemunha nem dos demais. Para o fósforo observa-se que a testemunha e a micorriza apresentaram os valores mais elevados, sobretudo a micorriza, com 1,83 g kg<sup>-1</sup>. Os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si, sendo o valor mais baixo (1,23 g kg<sup>-1</sup>) registrado no tratamento 3% NPK + 3% N.

Tabela 6. Concentração de macronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante

Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	6,64	b	1,73	a	7,03	a	5,00	a	0,73	a
Micorriza	8,42	ab	1,83	a	8,70	a	5,03	a	0,87	a
3% NPK	9,52	a	1,53	ab	9,27	a	6,20	a	1,10	a
3% NPK + 3% N	9,64	a	1,23	b	8,90	a	6,27	a	1,03	a
3% NPK + 3% P	9,96	a	1,63	ab	9,00	a	6,50	a	1,00	a
3% NPK + 3% K	8,95	a	1,63	ab	9,60	a	6,27	a	1,10	a
3% NPK + micro	9,73	a	1,60	ab	9,43	a	6,23	a	0,97	a
C.V. %	7,59		10,82		13,81		13,22		16,95	

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

A concentração de micronutrientes no caule, apresentados na tabela 07, revelou que não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos para boro, manganês e zinco. Para o ferro, pode-se observar que o tratamento 3% NPK + 3% K apresentou os maiores teores e os tratamentos com micorriza e 3% NPK + 3% N os menores. No cobre as maiores concentrações ficaram com o tratamento 3% NPK e as menores concentrações ficaram na testemunha com 11,82 mg kg<sup>-1</sup>.

Tabela 7. Concentração de micronutrientes nos caules em função do tratamento fertilizante

Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	20,51	a	238,73	ab	11,61	a	25,58	a	11,82	b
Micorriza	23,43	a	187,12	b	13,19	a	21,64	a	12,45	ab
3% NPK	19,94	a	222,77	ab	20,19	a	18,16	a	17,43	a
3% NPK + 3% N	19,92	a	216,88	b	18,75	a	17,40	a	12,72	ab
3% NPK + 3% P	22,06	a	257,55	ab	17,45	a	20,04	a	13,92	ab
3% NPK + 3% K	19,53	a	369,75	a	16,50	a	20,69	a	13,15	ab
3% NPK + micro	20,80	a	224,97	ab	14,85	a	18,76	a	13,69	ab
C.V. %	8,26		22,23		26,90		20,83		13,51	

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

Nas folhas, como visto na tabela 08, nem a concentração de fósforo, nem a de potássio nem a de cálcio diferiram significativamente entre tratamentos. Para o nitrogênio, observa-se que apenas a testemunha teve um desempenho inferior aos restantes tratamentos, com 15,03 g kg<sup>-1</sup>. Já para o magnésio, nota-se maior concentração no tratamento 3% NPK + 3% P, embora não difira significativamente dos tratamentos 3%

NPK + 3% N, 3% NPK ou 3% NPK + micro. As menores concentrações de magnésio ficaram com a micorriza e com a testemunha, onde ambas apresentaram valores de 1,30 g kg<sup>-1</sup>

Tabela 8. Concentração de macronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante

Tratamentos	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	----- g kg <sup>-1</sup> -----				
Testemunha	15,03 b	2,03 a	10,97 a	7,30 a	1,30 c
Micorriza	21,08 a	1,77 a	8,83 a	6,73 a	1,30 c
3% NPK	21,74 a	1,77 a	9,47 a	8,83 a	1,77 ab
3% NPK + 3% N	20,99 a	1,53 a	8,13 a	8,30 a	1,67 abc
3% NPK + 3% P	20,93 a	1,83 a	10,67 a	10,00 a	1,87 a
3% NPK + 3% K	20,81 a	2,00 a	7,60 a	11,03 a	1,40 bc
3% NPK + micro	21,97 a	1,70 a	10,53 a	8,57 a	1,50 abc
C.V. %	3,57	10,15	14,28	24,34	10,10

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

A concentração de micronutrientes nas folhas é apresentada na tabela 09. A concentração de ferro não diferiu estatisticamente entre tratamentos. O boro apresentou valores mais elevados no tratamento 3% NPK + 3% K com 26,85 g kg<sup>-1</sup>, já a menor concentração ficou com o tratamento 3% NPK + 3% N, com 22,57 g kg<sup>-1</sup>. Para o manganês a maior concentração ficou com 3% NPK + 3% N com o valor de 63,03 g kg<sup>-1</sup> e as menores concentrações foram registradas na micorriza e na testemunha, com 35,43 g kg<sup>-1</sup> e 34,14 g kg<sup>-1</sup> respectivamente.

Para o zinco o tratamento 3% NPK + 3% K apresentou o maior resultado enquanto o menor foi registrado com 3% NPK + 3% P. Já para o cobre o tratamento 3% NPK + micro foi o que teve o maior resultado (16,99 mg kg<sup>-1</sup>) e a micorriza o menor (11,23 g kg<sup>-1</sup>).

Tabela 9. Concentração de micronutrientes nas folhas em função do tratamento fertilizante

Tratamentos	----- mg kg <sup>-1</sup> -----									
	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
Testemunha	26,59	ab	221,01	a	34,14	c	17,95	bc	13,42	bc
Micorriza	25,23	ab	123,49	a	35,43	c	19,08	bc	11,23	c
3% NPK	25,76	ab	199,63	a	55,47	ab	20,50	bc	12,78	bc
3% NPK + 3% N	22,57	b	94,63	a	63,03	a	18,39	bc	11,85	bc
3% NPK + 3% P	24,02	ab	97,85	a	46,21	abc	17,70	c	11,97	bc
3% NPK + 3% K	26,85	a	166,80	a	40,60	bc	26,47	a	14,63	ab
3% NPK + micro	24,47	ab	126,32	a	45,00	abc	23,30	ab	16,99	a
C.V. %	5,97		38,89		14,60		9,46		8,99	

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

Na tabela 10 apresentam-se os resultados obtidos para a concentração dos macronutrientes na raiz. A concentração de magnésio não diferiu estatisticamente entre tratamentos. Para o nitrogênio, os valores mais elevados ficaram com 3% NPK + 3% N e 3% NPK + micro, sendo os mais baixos registados na testemunha. Para o fósforo, a maior concentração foi obtida na micorriza, com 1,87 g kg<sup>-1</sup>, já a menor concentração foi no tratamento com 3% NPK apresentando valor de 1,20 g kg<sup>-1</sup>. O tratamento com 3% NPK + 3% P, para a concentração de fósforo não diferiu nem do melhor tratamento, nem do pior, apresentando um valor médio de 1,40 g kg<sup>-1</sup>.

Para o potássio a maior concentração ficou com o tratamento 3% NPK + 3% N com 11,83 g kg<sup>-1</sup>, sendo que também não diferiu do tratamento 3% NPK + 3% K, apresentando este um valor de 11,17 g kg<sup>-1</sup>. Os menores valores foram registados na testemunha, 3% NPK e 3% NPK + 3% P. O cálcio apresentou valores mais elevados em 3% NPK e mais baixos na micorriza, não tendo os demais diferido.

Tabela 10. Concentração de macronutrientes na raiz em função do tratamento fertilizante

Tratamentos	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
Testemunha	9,73	c	1,80	ab	8,87	b	7,13	ab	6,27	a
Micorriza	13,08	ab	1,87	a	10,50	ab	6,43	b	3,80	a
3% NPK	11,42	bc	1,20	c	9,03	b	8,67	a	7,03	a
3% NPK + 3% N	15,16	a	1,33	bc	11,83	a	7,33	ab	5,30	a
3% NPK + 3% P	12,41	b	1,40	abc	9,30	b	7,07	ab	7,33	a
3% NPK + 3% K	13,58	ab	1,53	abc	11,17	ab	7,47	ab	5,03	a
3% NPK + micro	14,88	a	1,57	abc	10,83	ab	7,87	ab	5,07	a
C.V. %	6,68		11,05		8,63		10,23		28,95	

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

Para os micronutrientes na raiz, apresentados na tabela 11, aqueles para os quais ocorreram diferenças significativas foram o ferro e o manganês, apresentando o ferro, altas concentrações na raiz, sendo a maior delas no tratamento 3% NPK e o menor valor no tratamento com micorriza. Já para o manganês, a micorriza apresentou o menor valor. No entanto observam-se altas concentrações do elemento nos tratamentos 3% NPK, 3% NPK + 3% N e 3% NPK + 3% P.

Tabela 11. Concentração de micronutrientes na raiz em função do tratamento fertilizante

Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	16,02	a	13500,67	ab	295,03	ab	299,39	a	82,99	a
Micorriza	17,02	a	5426,00	b	142,15	b	44,64	a	58,44	a
3% NPK	19,37	a	14375,00	a	354,97	a	101,83	a	70,17	a
3% NPK + 3% N	19,49	a	8373,00	ab	338,69	a	282,27	a	70,82	a
3% NPK + 3% P	20,10	a	11698,00	ab	311,79	a	55,33	a	64,12	a
3% NPK + 3% K	17,91	a	8581,67	ab	197,56	ab	46,96	a	70,06	a
3% NPK + micro	19,25	a	7442,67	ab	224,76	ab	42,03	a	73,08	a
C.V. %	8,66		29,34		22,15		120,85		13,81	

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

#### 4.4. Exportação de nutrientes na planta

Os resultados da exportação de nutrientes, obtidos a partir do produto entre a matéria seca e a concentração de um dado nutriente na matéria seca, são apresentados nas tabelas 12 e 13. Para os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio se registaram diferenças significativas para o nitrogênio, em que os valores mais baixos foram registrados na modalidade testemunha.

Os tratamentos fertilizantes exerceram um efeito significativo na acumulação de cálcio e magnésio, embora para o cálcio as diferenças significativas tenham sido registradas apenas para a totalidade da planta (tabela 12). O tratamento 3% NPK teve tendência para apresentar os valores mais elevados de acumulação destes nutrientes. Na parte aérea, o menor valor para a acumulação de magnésio foi registrado na testemunha, com 8,63 g planta<sup>-1</sup>. Na planta inteira os menores valores foram registrados com micorriza e 3% NPK + 3% N. Para o cálcio o menor valor encontrado foi na micorriza, com 87,25 g planta<sup>-1</sup>.

Tabela 12. Exportação dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na raiz, na parte aérea e na totalidade da planta.

<b>Raiz</b>										
Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	52,58	a	9,72	a	47,92	a	38,45	ab	34,13	ab
Micorriza	50,61	a	7,14	ab	40,43	a	25,08	b	14,74	b
3% NPK	67,96	a	7,18	ab	54,12	a	53,07	a	43,76	a
3% NPK + 3% N	55,16	a	4,80	b	43,26	a	26,96	b	19,33	ab
3% NPK + 3% P	61,13	a	6,95	ab	45,43	a	34,29	ab	34,99	ab
3% NPK + 3% K	64,91	a	7,23	ab	53,35	a	35,56	ab	24,02	ab
3% NPK + micro	62,47	a	6,63	ab	45,47	a	33,06	ab	21,25	ab
C.V. %	12,82		19,24		14,27		22,22		33,95	
<b>Parte aérea</b>										
Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	182,03	b	32,22	a	152,55	a	56,33	a	8,63	b
Micorriza	284,97	a	34,89	a	167,89	a	62,17	a	10,91	ab
3% NPK	293,61	a	31,59	a	180,07	a	82,01	a	15,25	a
3% NPK + 3% N	259,42	ab	23,68	a	143,77	a	70,39	a	12,16	ab
3% NPK + 3% P	281,04	a	32,04	a	180,75	a	81,68	a	13,29	ab
3% NPK + 3% K	294,63	a	36,29	a	173,43	a	87,64	a	14,04	ab
3% NPK + micro	312,26	a	32,78	a	200,87	a	84,12	a	13,61	ab
C.V. %	11,09		17,12		15,67		19,37		17,2	
<b>Totalidade da planta</b>										
Tratamentos	Nitrogênio		Fósforo		Potássio		Cálcio		Magnésio	
	----- g kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	234,62	b	41,94	a	200,47	a	94,78	ab	42,77	ab
Micorriza	335,58	a	42,03	a	208,32	a	87,25	b	25,65	b
3% NPK	361,57	a	38,77	a	234,18	a	135,08	a	59,01	a
3% NPK + 3% N	314,58	ab	28,48	a	187,03	a	97,35	ab	31,49	b
3% NPK + 3% P	342,17	a	38,98	a	226,18	a	115,97	ab	48,28	ab
3% NPK + 3% K	359,54	a	43,52	a	226,78	a	123,20	ab	38,06	ab
3% NPK + micro	374,73	a	39,40	a	246,35	a	117,18	ab	34,86	ab
C.V. %	10,55		16,65		13,43		15,46		24,08	

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

Na tabela 13 apresentam-se os resultados dos micronutrientes extraídos na raiz, parte aérea e na totalidade da planta. De uma maneira geral, registaram-se diferenças significativas entre tratamentos para micronutrientes, somente os valores de boro não diferiram, quer na parte aérea quer na totalidade da planta, no entanto variaram na raiz. Já os valores de cobre na totalidade da planta e na raiz não variaram.

Tabela 13. Exportação dos micronutrientes na raiz, parte aérea e na totalidade da planta em função dos tratamentos fertilizantes.

<b>Raiz</b>										
Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	0,09	ab	72,94	ab	1,60	ab	1,59	a	0,45	a
Micorriza	0,06	b	21,37	b	0,56	b	0,17	a	0,23	a
3% NPK	0,12	a	90,58	a	2,22	a	0,58	a	0,44	a
3% NPK + 3% N	0,07	b	30,39	b	1,24	ab	1,01	a	0,26	a
3% NPK + 3% P	0,10	ab	55,56	ab	1,51	ab	0,27	a	0,32	a
3% NPK + 3% K	0,08	ab	40,93	ab	0,94	b	0,23	a	0,34	a
3% NPK + micro	0,08	ab	31,30	b	0,94	b	0,18	a	0,31	a
C.V. %	15,33		39,12		35,07		94,97		24,60	
<b>Parte aérea</b>										
Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	0,40	a	3,98	a	0,38	c	0,38	ab	0,22	ab
Micorriza	0,47	a	3,00	a	0,47	bc	0,39	ab	0,23	ab
3% NPK	0,44	a	8,34	a	0,71	a	0,37	ab	0,29	ab
3% NPK + 3% N	0,36	a	2,64	a	0,69	ab	0,30	b	0,21	b
3% NPK + 3% P	0,42	a	3,21	a	0,57	abc	0,34	ab	0,24	ab
3% NPK + 3% K	0,47	a	5,56	a	0,56	abc	0,47	a	0,28	ab
3% NPK + micro	0,45	a	3,50	a	0,59	abc	0,41	ab	0,31	a
C.V. %	12,03		61,26		14,30		15,09		13,90	
<b>Totalidade da planta</b>										
Tratamentos	Boro		Ferro		Manganês		Zinco		Cobre	
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----									
Testemunha	0,49	a	76,91	ab	1,98	ab	1,97	a	0,66	a
Micorriza	0,54	a	24,38	b	1,03	b	0,57	a	0,46	a
3% NPK	0,56	a	98,92	a	2,93	a	0,95	a	0,73	a
3% NPK + 3% N	0,43	a	33,02	b	1,92	ab	1,31	a	0,47	a
3% NPK + 3% P	0,52	a	58,77	ab	2,09	ab	0,62	a	0,55	a
3% NPK + 3% K	0,55	a	46,50	ab	1,51	b	0,70	a	0,61	a
3% NPK + micro	0,53	a	34,80	b	1,53	b	0,59	a	0,61	a
C.V. %	10,60		37,32		25,68		56,85		17,33	

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

Na raiz, observa-se que zinco também não variou entre nenhum tratamento, entretanto, o ferro e manganês apresentaram diferenças significativas. A micorriza teve as menores taxas de acúmulo nas raízes de boro, ferro e manganês, enquanto que as maiores acumulações foram encontradas no tratamento 3% NPK para os mesmos nutrientes.

O tratamento 3% NPK + 3% K originou as maiores acumulações na parte aérea tanto para ferro quanto para zinco. Já o tratamento 3% NPK teve maior extração na parte aérea de manganês e o tratamento 3% NPK + micro gerou maior extração de cobre.

A micorriza foi o tratamento com menor acúmulo de ferro na parte aérea. Enquanto para o zinco a menor extração ocorreu no tratamento 3% NPK + 3% N, tendo nesse tratamento ocorrido também a menor extração de cobre.

Na planta inteira o tratamento 3% NPK originou maior acumulação de ferro e manganês. Já para o ferro e para o manganês a micorriza e o tratamento 3% NPK + micro foram os que originaram menores exportações.

#### 4.5. Propriedades do solo

Os resultados de diversas análises efetuadas nas amostras de solo são apresentados nas tabelas 14 e 15.

Genericamente as amostras apresentam valores de matéria orgânica baixos, embora tenham ocorrido diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 14). O tratamento onde o teor de matéria orgânica foi mais elevado foi o 3% NPK + 3% N. O pH das amostras oscila entre neutro e pouco ácido, sendo o valor médio mais próximo da neutralidade o do tratamento com micorriza, com pH em água de 6,23, e o mais ácido o tratamento com 3% NPK com valor de pH também em água de 5,4.

Para o fósforo e o potássio, o tratamento micorriza foi o que apresentou resultados mais elevados, com 135,61 mg kg<sup>-1</sup> para fósforo e 83,00 mg kg<sup>-1</sup> para o potássio. Já os menores valores para ambos os elementos foram observados na testemunha. O boro não apresentou diferença estatística significativa entre tratamentos, porém o que apresentou maior valor foi 3% NPK + 3% K com 0,99 mg kg<sup>-1</sup>.

Tabela 14. pH (H<sub>2</sub>O), pH (KCl), fósforo e potássio extraíveis (Egner-Rhiem), boro extraível em água fervente e matéria orgânica (MO) facilmente oxidável (Walkley-Black).

Tratamento	pH		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	B	MO						
	H <sub>2</sub> O	KCl										
Testemunha	6,13	ab	5,08	abc	37,12	c	45,00	e	0,68	a	1,48	c
Micorriza	6,23	a	5,33	a	135,61	a	83,00	a	0,50	a	1,77	ab
3% NPK	5,40	c	4,72	cd	90,47	b	70,67	cd	0,57	a	1,52	c
3% NPK + 3% N	5,66	bc	4,52	d	79,52	b	73,00	bc	0,46	a	1,80	a
3% NPK + 3% P	5,89	abc	4,95	bc	146,83	a	66,33	cd	0,78	a	1,56	bc
3% NPK + 3% K	5,96	ab	5,13	ab	88,50	b	82,33	ab	0,99	a	1,48	c
3% NPK + micro	5,73	abc	4,88	bcd	85,41	b	62,33	d	0,59	a	1,62	abc
C.V. %	3,16		2,75		13,73		5,09		41,26		5,10	

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

Na tabela 15 são apresentados os valores dos cátions trocáveis (Ca<sup>++</sup>; Mg<sup>++</sup>; K<sup>+</sup>; Na<sup>+</sup>) e da acidez de troca e capacidade de troca catiónica efetiva (CTCe). Os valores de cálcio e potássio de troca, bem como a CTCe apresentam diferenças significativas entre tratamentos. O maior valor de CTCe foi registado no tratamento 3% NPK + 3% N com 20,57 cmol(+) kg<sup>-1</sup> e o menor valor de CTCe em 3% NPK + 3% K, com valor de 15,14 cmol(+) kg<sup>-1</sup>. De qualquer forma, estes valores não são considerados baixos.

Tabela 15. Resultados da análise ao complexo de troca

Tratamento	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	AT		CTCe							
					NaOH	Al <sup>+++</sup>								
Testemunha	12,30	ab	3,64	a	0,14	b	0,26	a	0,17	a	0,10	a	16,51	ab
Micorriza	14,31	ab	4,84	a	0,24	a	0,33	a	0,10	a	0,13	a	19,84	ab
3% NPK	13,53	ab	4,62	a	0,19	ab	0,29	a	0,17	a	0,13	a	18,80	ab
3% NPK + 3% N	15,09	a	4,84	a	0,22	a	0,29	a	0,13	a	0,07	a	20,57	a
3% NPK + 3% P	13,25	ab	4,12	a	0,21	a	0,29	a	0,13	a	0,10	a	18,00	ab
3% NPK + 3% K	11,15	b	3,37	a	0,22	a	0,26	a	0,13	a	0,13	a	15,14	b
3% NPK + micro	14,13	ab	4,09	a	0,19	ab	0,26	a	0,17	a	0,13	a	18,84	ab
C.V. %	8,84		15,01		10,14		12,80		37,41		63,31		9,93	

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

Na tabela 16 podem-se observar os valores do fósforo lábil, que representa a fração do fósforo do solo que está mais disponível para ser absorvido durante o ciclo de

vida da planta, e os valores da atividade da fosfatase ácida. A fosfatase ácida é uma enzima importante na transformação dos compostos de fósforo e na disponibilização do fósforo inorgânico para as plantas.

Com isso, os resultados mostraram que os maiores valores de fósforo lábil foram registados no tratamento 3% NPK + 3% P, com 91,90 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto a atividade da fosfatase ácida registou os maiores valores no tratamento com micorriza, com 487,51 µg nitrofenol g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Tabela 16. Fósforo lábil e atividade fosfatase ácida em função dos tratamentos fertilizantes

Tratamentos	Plábil		Atividade fosfatase	
	mg kg <sup>-1</sup>		µg nitrofenol g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	
Testemunha	31,32	d	440,66	a
Micorriza	77,98	b	487,51	a
3% NPK	67,36	bc	292,69	bc
3% NPK + 3% N	63,12	c	353,21	b
3% NPK + 3% P	91,90	a	326,35	bc
3% NPK + 3% K	69,15	bc	280,70	c
3% NPK + micro	63,70	c	299,72	bc
C.V. %	6,44		6,20	

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

## 5. Discussão

### 5.1. Parâmetros de fluorescência das clorofilas

Os dados da tabela 04 mostram que não houve diferença significativa entre tratamentos nos parâmetros relacionados com a fluorescência das clorofilas. Tal fato pode estar relacionado com a reduzida sensibilidade do equipamento a estresses nutricionais sem que estes se manifestem em nível severo. Os dados da concentração de nutrientes nos tecidos mostraram pouca variação o que ajuda a explicar este resultado. Sendo também importante mencionar que as mudas estavam em casa de vegetação e foram nutridas e regadas conforme necessidade, o que impediu estresses.

Por outro lado os valores estão dentro dos padrões habituais em plantas na ausência de estresse, tal como observaram Lu & Zhang (2000) na cultura do milho, em que os valores de  $F_V/F_M$  foram semelhantes, eventualmente também pelas plantas não se encontrarem em situação de estresse. O mesmo ocorreu em oliveira, em estudo de Boughalleb & Hajlaoui (2011), no qual os autores em plantas sem estresse encontraram valores de 0,83.

Gomes et al. (2012), em estudo com maracujá com o teste OJIP, observaram que as plantas não submetidas a estresse apresentaram valores baixos em todas as fases do teste. O mesmo se encontrou no presente estudo, no qual os valores ficaram entre 500 a 1000.

### 5.2. Produção de matéria seca

Conforme os resultados da tabela 05, a micorriza não aumentou significativamente a matéria seca da raiz, tendo inclusive registrado o segundo menor peso, de 3,88 g. Esses dados diferem dos de Citerinesi et al. (1998), tendo estes autores encontrado aumento significativo no peso em plantas jovens de oliveira pela aplicação de uma micorriza.

Outros autores, como Meddad-Hamza et al. (2010), também observaram diferença significativa entre plantas de oliveira micorrizadas com diferentes espécies do fungo em mudas de 9 meses. Os autores observaram uma massa radicular de 2,78 g para a micorriza da espécie *Glomus mosseae*, porém para outra espécie de micorriza (*Glomus intraradices*), já encontraram pesos inferiores, com 1,80 g. Porras-Soriano et al. (2009)

para a mesma espécie de micorriza citada anteriormente (*G. mosseae*), encontraram peso médio de 2,96 g em mudas de 1 ano. No entanto, para outras espécies de micorriza os autores não observaram um aumento da massa radicular tão expressivo, o que pode demonstrar uma relação de elevada especificidade entre a planta de oliveira e a micorriza. Esse ponto, pode indicar o motivo de não haver diferença estatística entre os dados do presente estudo.

### 5.3. Concentração de nutrientes nos tecidos

Para o nitrogênio, notou-se uma maior concentração nas folhas, em comparação com os outros tecidos, sendo que todos os tratamentos apresentaram resultados semelhantes. Embora não possam ser comparados, pela colheita não respeitar o padrão das árvores adultas produtivas, como orientação pode indicar-se que a concentração de nitrogênio nos tecidos está ao nível dos registrados nas árvores adultas em bom estado nutricional, isto é, entre 15 a 20 g kg<sup>-1</sup> (Freeman et al., 2005).

Bati et al. (2014) também encontraram resultados semelhantes, sendo a concentração de nitrogênio nas folhas superior à dos outros tecidos. Porém, assim como no presente estudo, os autores não verificaram diferença entre a micorriza comercial e os demais tratamentos para os níveis do nutriente. Bouhafa et al. (2018) numa pesquisa sobre concentração dos nutrientes ao longo de um ano observou pouca diferença para o nitrogênio, sendo a variação de 14 a 19 g kg<sup>-1</sup>, tal como também ocorreu no presente estudo.

Porras-Soriano et al. (2009) encontraram resultados diferentes para o caule no tratamento com micorriza variando entre 9 a 10 g kg<sup>-1</sup>. No presente trabalho, observou-se uma concentração inferior, possuindo o caule valores de 8,42 g kg<sup>-1</sup>.

O fósforo desempenha um importante papel celular e de desenvolvimento radicular. Diante disso, a maior concentração de fósforo encontrada se deu nas folhas, apesar da diferença ser reduzida para os outros tecidos. Uma vez, embora a comparação deveria ser feita com precaução, os valores de fósforo em árvores adultas produtivas devem ficar entre 1 a 3 g kg<sup>-1</sup> (Freeman et al., 2005) Assim, os dados encontrados no estudo poderiam ser considerados dentro do intervalo adequado com as reservas referidas.

Tanto no caule quanto na raiz o tratamento com micorriza originou resultados superiores aos demais. Nas raízes, plantas que possuem a interação com a micorriza tendem a apresentar maior concentração do nutriente, pelo fato do fungo conseguir

absorvê-lo de forma mais eficiente (Hu et al., 2009). Além disso, a micorriza altera o suprimento da planta mesmo sem a ação da hifa de forma direta, através da modificação química e enzimática da rizosfera (Koide, 1991). Assim, a absorção do fósforo irá depender da espécie e de sua interação com o fungo e com a interdependência entre planta e fungo (Smith & Read, 2008).

Wu & Zou (2010) também encontram concentrações de fósforo superiores nas folhas em tratamento com micorriza por comparação com tratamentos testemunha. Os autores observaram ainda que a temperatura influencia na ação do fungo, sendo que sua eficiência diminui com a queda da temperatura. Hu et al. (2009) também observaram uma maior absorção do nutriente em plantas de milho inoculadas com o fungo. Os mesmos ainda descrevem que a micorriza teve maior benefício em solos mais pobre em fósforo.

Apenas foi observada diferença significativa entre tratamentos do potássio na raiz. Na folha, as concentrações de potássio, se comparadas com árvores adultas, mantiveram-se dentro do intervalo de suficiência, que conforme Freeman et al. (2005) se situam próximas de  $8 \text{ g kg}^{-1}$ . Dag et al. (2009), em um estudo com diferentes cultivares comerciais de oliveira, encontraram efeito significativo de uma micorriza em comparação com tratamentos testemunha, tanto para o fósforo, quanto para o potássio. No caso do presente estudo, não se encontrou incrementação suficiente na concentração de potássio pela micorriza em nenhum dos tecidos da planta.

Ouledali et al. (2018) em estudo com oliveiras submetidas a seca prolongada, observaram que os nutrientes se mantiveram em bom nível mesmo durante o período sem rega, supostamente devido ao efeito benéfico da micorriza.

Apesar da pouca variação encontrada na concentração de potássio nos tecidos no presente estudo, e dos poucos estudos realizados com esse nutriente, o potássio parece ter uma forte relação com a planta micorrizada (Garcia & Zimmermann, 2014). Os autores apontam a presença do íon, acumulado em esporos, nas hifas e também nas vesículas do fungo. No entanto, outros estudos também não observaram diferença entre plantas com micorriza e sem micorriza para o potássio, como é o caso de Domínguez-Núñez et al. (2006), em trabalhos com carvalhos. Estes autores registaram diferença entre os demais macronutrientes (nitrogênio e fósforo), porém o potássio, não apresentou diferenças significativas entre tratamentos.

As micorrizas possuem a capacidade de absorver além dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, também o cálcio o magnésio e os micronutrientes ferro, manganês, zinco e cobre (Miransari, 2013). Portela & Louzada (2007) em um estudo de revisão citam

o teor adequado de magnésio em folhas de oliveiras adultas acima de  $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ , valor, ainda assim, bem abaixo das concentrações de magnésio encontradas no presente estudo, demonstrando que mesmo sem micorriza as plantas estão bem providas do nutriente.

Portela et al. (2003) aponta sobre a relação do cálcio com o magnésio em castanheiro, no qual em situações de severa deficiência de magnésio essa relação poderá ficar até em 7:1, sendo que o adequado é de 4:1. No presente estudo, em oliveira, se observou uma relação de 6,7:1,30. Comparando com outras espécies, como o tomate, Cimen et al. (2010) encontrou resultados semelhantes, ou seja uma relação cálcio:magnésio de 6,80:1,20 em plantas inoculadas com micorrizas. SBCS (2004) aponta que essa relação pode aumentar até 10:1 sem ocorrerem deficiências nutricionais, como parece ser o caso aqui apresentado.

A concentração de cálcio nos tecidos só apresentou diferenças significativas entre tratamentos para a raiz e no caso do magnésio diferenças significativas só ocorreram na raiz. Porém, para o cálcio o tratamento com a micorriza apresentou os valores mais baixos. Em outros estudos (Domínguez-Núñez et al., 2006; Bati et al., 2014) também observam baixa concentração desse nutriente nos tecidos pela aplicação de uma micorriza. Essa baixa concentração pode ser explicada pela forma como o cálcio é translocado do solo para a planta, o qual é realizada por polifosfatos. Porém devido a necessidade do fungo em manter a concentração baixa de cálcio na região das hifas, a entrada do nutriente para as plantas é prejudicada (Marschner & Dell, 1994).

Domínguez-Núñez et al. (2006) também não observaram diferença significativa entre plantas micorrizadas e não micorrizadas para a concentração de magnésio nos tecidos. Porém, Bati et al. (2014) obtiveram resultados diferentes. Os autores apontam altas concentrações de magnésio em plantas de oliveira micorrizadas. Estes resultados diferem dos do presente estudo, aonde a micorriza foi o tratamento que originou menor concentração de magnésio nas folhas.

Para os micronutrientes, pode-se observar que a maior concentração tanto do ferro, quanto do manganês e do zinco foi na raiz, em comparação com os outros tecidos. Bati et al. (2014) também obtiveram resultados semelhantes para a oliveira, assim como outros autores em outras espécies, como Nogueira et al. (2007) em soja e Farzaneh et al. (2011) em grão-de-bico.

O manganês apresenta baixas concentrações em todos os tecidos da planta para o tratamento com a micorriza. Isso pode estar relacionado com o benefício da micorriza para a nutrição da planta. Uma vez que ao aumentar o teor de fósforo nos tecidos da

planta, devido à micorriza, a planta consegue manter as concentrações de manganês mais baixas por ação de uma série de mecanismos (Nogueira et al., 2007).

Esse mecanismo de proteção contra toxicidade de alguns elementos também ocorre para o ferro. No caso, observa-se que as plantas inoculadas tiveram a menor concentração do elemento na raiz, e isso ocorre pelo fato de os metais pesados serem retidos pelo fungo, acumulando-se em suas hifas, esporo e células, também ocorrendo para os demais metais como o cobre e o zinco (Bati et al., 2014; Turnau, 1998).

Já o boro é mais translocado e acumulado para as folhas visto que possui papel importante na regulação de água da planta e vingamento de flores e desenvolvimento dos frutos. Porém, não são encontrados registros de uma relação entre o nutriente com a melhora de sua absorção pela micorriza. Isso pode estar relacionado ao fato de o nutriente não ser essencial para o fungo, dessa forma o microrganismo não o repassaria à planta (Marschner & Dell, 1994).

#### 5.4. Exportação dos nutrientes

Os dados de extração de nutrientes pela planta são importantes para estimar o consumo da árvore e do pomar, além de ser útil para determinar a quantia de fertilizante a se adicionar (Fernández-Escobar et al., 2015). Diferentes culturas podem responder de forma muito variada aos nutrientes. Rodrigues et al. (2012) aponta que a oliveira exporta quantidades reduzidas de nitrogênio, enquanto que para o potássio as exportações são mais elevadas.

No presente estudo, a parte da planta que acumulou maior quantidade de macronutrientes foram as folhas, tal como encontrado por Fernández-Escobar et al. (2015) em um olival adulto. Os autores ainda observam que os nutrientes mais absorvidos foram cálcio, nitrogênio e potássio. Os dados divergem do presente estudo, talvez devido às plantas ainda estarem em fase juvenil. Foi observado que o potássio foi o nutriente retido em maior quantidade pela planta seguindo-se o nitrogênio.

Para o nitrogênio, Rodrigues et al. (2012) encontrou elevada concentração do nutriente em folhas, tal como no presente estudo. Para o fósforo, os autores encontraram baixa concentração nos tecidos com exceção das folhas e da polpa. No estudo aqui apresentado também se obteve maior concentração nas folhas, porém a diferença com o caule não foi elevada. Para potássio, o nutriente surgiu em maior quantidade nas folhas e no caule, assim como encontrado pelos autores mencionados.

Para o cálcio, nota-se uma grande acumulação no caule, o mesmo encontrado por El-Jendoubi et al. (2013) e Fernández-Escobar et al. (2015). El-Jendoubi et al. (2013) e Fernández-Escobar et al. (2015) também encontraram que o magnésio foi extraído em pequenas quantidades, tal como registado no presente estudo.

Todos os micronutrientes foram exportados em baixa quantidade na parte aérea da planta, ficando a maioria retida nas raízes. O que esteve presente em maiores quantidades foi o ferro, assim como encontrado por El-Jendoubi et al. (2013). Estes autores também relataram que o manganês foi o micronutriente menos abundante, dado que difere do presente estudo, aonde o cobre foi o que apresentou menor exportação. Fernández-Escobar et al. (2015) revelam que os micronutrientes foram extraídos todos em baixas quantidades, o que se observa para alguns micronutrientes no presente estudo, porém não para todos.

Para o tratamento com micorriza não se observaram diferenças significativas nos nutrientes, sendo que o tratamento não terá favorecido o processo de extração de nenhum desses. Tekaya et al. (2017), para mudas de oliveira de seis meses, encontraram dados divergentes do presente trabalho. Os autores observaram maior concentração de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro e zinco em folhas. Apesar de não se terem encontrado diferenças significativas, plantas micorrizadas apresentaram benefícios, uma vez que os fungos são mais eficientes a absorver nutrientes que as plantas, por possuírem enzimas digestivas, não encontradas em plantas (Ortas, 2018). É importante relatar que Ortas (2018) aponta sobre a compatibilidade entre cada planta e o fungo micorrizico, garantindo dessa forma a diversidade micológica da espécie. O fato de ter se utilizado micorriza comercial, poderia ter acarretado a uma falta de compatibilidade entre a espécie em maior abundância no formulado e a oliveira.

## 5.5. Propriedades do solo

O pH é um importante parâmetro para determinar a acidez ou alcalinidade de um solo. A maioria das plantas irá responder a um pH que varia entre 5,5 a 7,0 (Lierop, 1990). Os solos quando muito ácidos podem representar um problema para a cultura, devido à baixa disponibilidade de nutrientes como cálcio, magnésio e possivelmente fósforo (Arrobas & Moutinho-Pereira, 2009). No entanto, valores abaixo do limite indicado não foram encontrados no estudo. Porém, para a oliveira, o pH mais favorável encontra-se

entre 6,0 e 7,5 (Arrobas & Moutinho-Pereira, 2009). Valores próximos aos apresentados pelos autores só podem ser verificados no tratamento com micorriza e na testemunha.

Os demais tratamentos provocaram uma leve acidificação no solo, podendo se observar que todos ficaram na faixa de 5,0, talvez por serem fertilizantes minerais possam conduzir a uma redução do pH (Barak et al., 1997). Já o tratamento com a micorriza, limitou esse processo, mantendo um pH mais próximo do adequado para a cultura e também garantindo com isso o desenvolvimento da comunidade fúngica.

Diversos autores apontam elevada importância da relação entre o pH e o desenvolvimento dos fungos. Antonioli & Kaminski (1991) afirmam que o pH do solo irá influenciar no processo de colonização da raiz e também que diferentes espécies de fungos são adaptadas a diferente pH. Porém, a maioria acaba se desenvolvendo melhor em solos com pH próximo da neutralidade. Leifheit et al. (2015), em seus estudos com solos micorrizados, também observaram que o fungo causou um leve aumento no pH do meio.

Com uma alta abundância de microrganismos no solo, irá ocorrer a mineralização mais rápida dos materiais orgânicos à superfície, deixando-os disponíveis para as plantas (Stevenson & Cole, 1999). Dentre as principais funções dos microrganismos eles permitem incorporar e estocar carbono, nitrogênio e demais nutrientes no solo (Barros, 2013). Neste estudo observaram-se maiores teores de matéria orgânica no tratamento 3% NPK + 3% N, com valores de 1,8 %, porém em seguida, sem diferença estatística ficou o tratamento com micorriza com 1,77 %. Não se observou uma diferença significativa, por possível motivo de que, os fungos micorrizicos são responsáveis por boa parte da mineralização da matéria orgânica e disponibilização do nitrogênio para as plantas (Koller et al., 2013).

Os elevados teores de matéria orgânica observadas nos tratamentos com micorriza e 3% NPK + 3% N, também se refletiram em aumento da CTCe. Ciotta et al. (2003) em um estudo de 20 anos sobre matéria orgânica, notou o aumento da CTC em solos com maior concentração de matéria orgânica. Barbosa et al. (2015) também apontam sobre a relação entre a CTC e a matéria orgânica, sendo que ambas possuem uma correlação de até 90%.

Os demais nutrientes que são fornecidos pela matéria orgânica podem ser o fósforo, enxofre e micronutrientes. Porém, alguns autores, como Leifheit et al. (2015), não observaram aumento significativo destes nutrientes nos solos inoculados. No entanto, os mesmos citam que esse efeito não deve ser excluído, uma vez que outros autores já

relataram essas mudanças ( Richardson, 2001; Marschner et al., 2005). No presente estudo também se observou aumento das concentrações de fósforo e potássio no tratamento com micorriza.

A micorriza terá conseguido aumentar os teores de fósforo no solo devido à liberação da enzima fosfatase, cuja atividade foi mais elevada nesse tratamento (tabela 16). Marschner et al. (2005) afirmam que o efeito ainda não é totalmente entendido, porém, os autores também encontraram altos índices da atividade dessa enzima em solos micorrizados. As plantas e as micorrizas utilizam as formas inorgânicas de fósforo, porém o fungo é considerado mais eficiente em captar essas formas devido à ação da fosfatase que converte o fósforo orgânico do solo em formas mais disponíveis (Dodd et al., 1987). VanAarle & Plassard (2010) também observaram aumento das taxas da enzima fosfatase em solos com a presença de micorriza. Porém, os autores não constataram aumento na disponibilidade de fósforo em solos inoculados.

No atual estudo a presença de fósforo no solo em maior quantidade está relacionada com o tratamento 3% NPK + 3% P, uma vez que está a se fornecer o nutriente ao solo em formas disponíveis para a absorção da planta. VanAarle & Plassard (2010) e Dodd et al. (1987) observaram que em solos com altas concentrações de fósforo disponível, a atividade da fosfatase foi normalmente muito inferior, já que a rizosfera não necessitará dessa enzima para extração do fósforo do solo, estando esse prontamente disponível. Informação essa verificada no presente estudo, no qual observou-se atividade fosfatase de baixa significância para esse tratamento.

Em relação ao potássio, muito pouco ainda se é conhecido sobre sua interação com o fungo micorrizico (Smith & Read, 2008; Dominguez-Nuñez et al., 2016). Porém, Beauchamp et al. (2006) observaram uma correlação entre o íon absorvido pelas plantas e o fungo micorrizico. No presente estudo, também se nota um significativo aumento do potássio no tratamento micorriza. Dominguez-Nuñez et al. (2016) apontam que diferentes minerais do solo, tratados ou não com micorriza, irão liberar quantidades diferentes de potássio, sendo muitas vezes essas concentrações adequadas para a absorção da planta. Os autores ainda citam que a micorriza é capaz de aumentar a solubilidade do cátion através da liberação de prótons,  $H^+$ , ou aniões de ácidos orgânicos.

## 6. Conclusões

Os resultados alcançados mostraram informações relevantes para a cultura da oliveira e sobre sua adubação com uma micorriza comercial. Dentre eles, destacaram-se a eficácia do tratamento em relação à concentração de determinados nutrientes. O fósforo esteve em destaque, tanto na concentração nos caules quanto nas raízes. A micorriza também foi o tratamento com menor concentração de metais que podem ser tóxicos na planta, como por exemplo o manganês e o zinco.

Apesar dos inúmeros registros de outros autores em relação às altas taxas de exportação que a micorriza pode proporcionar às plantas, o mesmo não foi encontrado nesse trabalho. Podendo isso estar relacionado a inúmeros fatores, como compatibilidade entre o fungo e a planta, o fato de as mudas ainda serem jovens e a inoculação recente. Dessa forma, trabalhos futuros em continuação ao atual poderão prover informações novas sobre tal parâmetro.

Em relação aos solos, a micorriza comercial conseguiu manter a qualidade do mesmo não acidificando o solo, mantendo a CTC alta, garantindo com isso a retenção de cátions. Também foi o tratamento com matéria orgânica mais adequado juntamente com o tratamento com nitrogênio. Para a fração lábil do fósforo, a micorriza também teve um alto desempenho, já que com metade da concentração de fósforo na sua composição inicial originou resultados semelhantes ao tratamento que continha o dobro do nutriente. A atividade da fosfatase ácida também foi alta nesse tratamento, o que permite que a planta absorva maiores quantidades de fósforo.

Diante do exposto, a utilização de uma micorriza comercial pode ser viável e comparável aos tratamentos com fertilizantes convencionais. O tratamento conseguiu manter elevada concentração de nutrientes nos tecidos apesar da baixa exportação e produção de biomassa. Os dados obtidos mostraram o benefício para o solo e para a planta em relação a pH, matéria orgânica e atividade da fosfatase ácida.

## 7. Referências bibliográficas

- Ainsworth, G. C. (1973). Introduction and Keys to Higher Taxa. In I. Academic Press (Ed.), *The fungi: A Taxonomic Review with Keys: Ascomycetes and Fungi Imperfecti* (4th ed., pp. 1–7). Nova Iorque, EUA.
- Alcobia, M. D., & Ribeiro, J. R. (2001). *Manual do olival em agricultura biológica*. (Dourofigo, Ed.) (1st ed.). Alijó, Pt.
- Antoniolli, Z. I., & Kaminski, J. (1991). Micorrizas. *Ciência Rural*, 21(3), 441–455.
- Arrobas, M., & Moutinho-Pereira, J. (2009). Fertilização do Olival. In M. Â. Rodrigues & C. Correia (Eds.), *Manual da safra e contra safra do olival* (1st ed., pp. 21–41). Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança.
- Bacelar, E., Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., & Correia, C. (2009). Botânica e Morfologia da Oliveira. In M. Â. Rodrigues & C. M. Correia (Eds.), *Manual da safra e contra safra do olival* (1st ed., pp. 18–20). Bragança, Pt: Instituto Politécnico de Bragança.
- Bago, B., Pfeffer, P., & Shachar-hill, Y. (2000). Carbon metabolism and transport in Arbuscular mycorrhizas. *Plant Physiology*, 124, 949–957.
- Balbino, L. R. (1968). La méthode Egner-Riehm et la détermination du phosphore et du potassium «assimilável» des sols du Portugal. *II Col. Mediterrâneo Contrl. Fert. Plantas Cultivadas*, 55–65.
- Barak, P., Jobe, B. O., Krueger, A. R., Peterson, L. A., & Laird, D. A. (1997). Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant and Soil*, 197(1), 61–69. <https://doi.org/10.1023/A:1004297607070>
- Barber, S. A. (1995). *Soil Nutrient Bioavailability*. (I. John Wiley & Sons, Ed.) (2nd ed.). New York, EUA.
- Barbosa, R. S., Moura, M. C. S. de, Lima, N. N. de, Cruz, Marafon, G., Santos, G. V. dos, & Sousa, S. L. de. (2015). *CTC como atributo pedoindicador da matéria orgânica do solo*. Natal, Brasil. Retrieved from <https://www.sbc.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/208.pdf>
- Barros, J. D. de S. (2013). Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. *Polêmica*, 12(2), 1–6.
- Bati, C. B., Santilli, E., & Lombardo, L. (2014). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and on micronutrient and macronutrient uptake and allocation in olive plantlets growing under high total Mn levels. *Mycorrhiza*, 25(2), 97–108. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0589-0>
- Beauchamp, V. B., Stromberg, J. C., & Stutz, J. C. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with Populus-Salix stands in a semiarid riparian ecosystem. *New Phytologist*, 170(2), 369–380. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01668.x>
- Berbara, R. L. L., Souza, F. A., & Fonseca, H. M. a. c. (2006). Fungos Micorrizicos Arbusculares : Muito além da nutrição. In M. S. Fernandes (Ed.), *Nutrição Mineral de Plantas* (1st ed., p. 432). Viçosa, Br: sbcs.
- Berdeni, D., Cotton, T. E. A., Daniell, T. J., Bidartondo, M. I., Cameron, D. D., & Evans,

- K. L. (2018). The effects of arbuscular mycorrhizal fungal colonisation on nutrient status, growth, productivity, and canker resistance of apple (*Malus pumila*). *Frontiers in Microbiology*, 9(JUL), 1461. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01461>
- Binet, M. N., Lemoine, M. C., Martin, C., Chambon, C., & Gianinazzi, S. (2007). Micropropagation of olive (*Olea europaea* L.) and application of mycorrhiza to improve plantlet establishment. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 43(5), 473–478. <https://doi.org/10.1007/s11627-007-9097-7>
- Bohm, J., & Antunes, M. T. (2013). A evolução da espécie *Olea europaea*. In J. Bohm (Ed.), *O grande livro da oliveira e do azeite: Portugal oleícola* (1st ed., pp. 34–47). Lisboa, Pt: Dinalivro.
- Bonfante-Fasolo, P. (1984). Anatomy and Morphology of Va Mycorrhizae. In A. Powell (Ed.), *Va Mycorrhiza* (1st ed., pp. 5–33). Boca Raton, EUA: Crc Press.
- Bonfante, P., & Perotto, S. (1995). Tansley Review No. 82. Strategies of arbuscular mycorrhizal fungi when infecting host plants. *New Phytologist*, 130(1), 3–21. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1995.tb01810.x>
- Boughalleb, F., & Hajlaoui, H. (2011). Physiological and anatomical changes induced by drought in two olive cultivars (cv Zalmati and Chemlali). *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(1), 53–65. <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0516-8>
- Bouhafa, K., Moughli, L., Bouabid, R., Douaik, A., & Taarabt, Y. (2018). Dynamics of macronutrients in olive leaves. *Journal of Plant Nutrition*, 41(8), 956–968. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1431664>
- Braghirolli, F. L., Sgrott, A. F., Pescador, R., Uhlmann, A., & Stürmer, S. L. (2012). Processos e propriedades do solo Mycorrhizal Effectiveness on Physic Nut as. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 36(3), 733–743.
- Bremner, J. m. (1996). Nitrogen-Total. In D. I. et al SPARKS (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods* (1st ed., pp. 1085–1121). Madison, EUA: Sssa Book.
- Calvente, R., Cano, C., Ferrol, N., Azcón-Aguilar, C., & Barea, J. . (2004). Analysing natural diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in olive tree (*Olea europaea* L.) plantations and assessment of the effectiveness of native fungal isolates as inoculants for commercial cultivars of olive plantlets. *Applied Soil Ecology*, 26(1), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.10.009>
- Campbell, R., & Greaves, M. P. . (1990). Anatomy and community structure of the rhizosphere. In J. M. Lynch (Ed.), *The rhizosphere* (1st ed., pp. 11–34). Londres, UK: Wiley.
- Castillo, P., Nico, A. I., Azcón-Aguilar, C., Del Río Rincón, C., Calvet, C., & Jiménez-Díaz, R. M. (2006). Protection of olive planting stocks against parasitism of root-knot nematodes by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Pathology*, 55(5), 705–713. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01400.x>
- Chatzistathis, T., Orfanoudakis, M., Alifragis, D., & Therios, I. (2013). Chatzistathis et al. AMF colonization of Greek olive cultivars Scientia Agricola. *Sci. Agric. V*, 70(3), 185–194. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/sa/v70n3/07.pdf>
- Cimen, I., Pirinc, V., Doran, I., & Turgay, B. (2010). Effect of soil solarization and

- arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) on yield and blossom-end rot of tomato. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12(4), 551–555.
- Ciotta, M. N., Bayer, C., Mara, S., Fontoura, V., Ernani, P. R., & Albuquerque, J. A. (2003). Soil organic matter and cation exchange capacity increase in a low activity clay soil under no-tillage system. *Ciência Rural*, 33(6), 1161–1164. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000600026>
- Citernes, A. S., Vitagliano, C., & Giovannetti, M. (1998). Plant growth and root system morphology of *Olea europaea* L. rooted cuttings as influenced by arbuscular mycorrhizas. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 73(5), 647–654. <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11511028>
- Comberford, N. B. (2005). Soil factors affecting nutrient bioavailability. In H. BassiriRad (Ed.), *Nutrient Acquisition by Plants* (Vol. 181, pp. 1–14). Florida, EUA: Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/3-540-27675-0\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-27675-0_1)
- Costa, J. A., & Melo, A. S. (1995). *Dicionário da língua portuguesa* (7th ed.). Porto, Pt: Porto Editora.
- Cruz, C. . (2013). GENES - Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, Br: UFV.
- Czerniak, M. J., & Stürmer, S. L. (2014). Produção de inoculante micorrizico on farm utilizando resíduos da indústria florestal. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 38(6), 1712–1721.
- da Silva, C. F., Simões-Araújo, J. L., da Silva, E. M. R., Pereira, M. G., Freitas, M. S. M., Saggin, O. J., & Martins, M. A. (2012). Fungos micorrízicos arbusculares e proteína do solo relacionada à glomalina em área degradada por extração de argila e revegetada com eucalipto e acácia. *Ciencia Florestal*, 22(4), 749–761. <https://doi.org/10.5902/198050987556>
- Dag, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Zipori, I., & Kapulnik, Y. (2009). Nursery and post-transplant field response of olive trees to arbuscular mycorrhizal fungi in an arid region. *Crop and Pasture Science*, 60(5), 427–433. <https://doi.org/10.1071/CP08143>
- Dantas, J. S., Souza, a. P., Farias, M. F., & Nogueira, V. F. B. (2009). Interações entre grupos de microorganismos com a rizosfera. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 2(2), 213–218. Retrieved from <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/viewFile/113/808>
- De Souza, V. C., Silva, R. A., Cardoso, G. D., & Barreto, A. F. (2006). Studies on mycorrhizal fungi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3), 612–618. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300011>
- Dodd, B. Y. J. C., Burton, C. C., Burns, R. G., & Jeffries, P. (1987). Activity associated with the roots and the rhizosphere of plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 107(1), 163–172.
- Dominguez-Nuñez, J. A., Benito, B., Berrocal-Lobo, M., & Albanesi, A. (2016). Mycorrhizal fungi: Role in the solubilization of potassium. In *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture* (Vol. 1912, pp. 77–98). New Delhi: Springer India. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2776-2_6)

- Domínguez Núñez, J. A., Serrano, J. S., Barreal, J. A. R., & González, J. A. S. de O. (2006). The influence of mycorrhization with *Tuber melanosporum* in the afforestation of a Mediterranean site with *Quercus ilex* and *Quercus faginea*. *Forest Ecology and Management*, 231(1–3), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.052>
- Doran, J. W., & 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* (1st ed., pp. 3–22). Madison, EUA: Soil Science Society of America. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11.
- Drew, M. C. (1975). Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. *New Phytologist*, 75(3), 479–490.
- Duarte, F., Jones, N., Lúcio, C., & Nunes, A. (2006). The reform of the olive oil regime and its impacts on the olive and olive oil sector: a case study in northern Portugal - Trás-os-Montes. *New Medit*, 2(1), 4–15.
- El-Jendoubi, H., Abadía, J., & Abadía, A. (2013). Assessment of nutrient removal in bearing peach trees (*Prunus persica* L. Batsch) based on whole tree analysis. *Plant and Soil*, 369(1–2), 421–437. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1556-1>
- Eurostat. (2017). Agriculture, forestry and fishery statistics. Luxemburgo: European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8538823/KS-FK-17-001-EN-N.pdf/c7957b31-be5c-4260-8f61-988b9c7f2316>
- Farzaneh, M., Vierheilig, H., Lössll, A., & Kaull, H. P. (2011). Arbuscular mycorrhiza enhances nutrient uptake in chickpea. *Plant, Soil and Environment*, 57(10), 465–470. <https://doi.org/10.1038/ngeo838>
- Fernández-Escobar, R. (2017). Fertilización. In D. Barranco, R. Fernández-escobar, & L. Rallo (Eds.), *El cultivo del olivo* (7th ed., pp. 421–458). Madrid, ES: Ediciones Mundi-prensa.
- Fernández-Escobar, R., Rosa, R. de la, León, L., Gómez, J. A., Testi, L., Orgaz, F., ... Msallem, M. (2012). Sistemas de producción en olivicultura. *Olivae*, 118(1), 55–68.
- Fernández-Escobar, R., Sánchez-Zamora, M. A., García-Novelo, J. M., & Molina-Soria, C. (2015). Nutrient Removal from Olive Trees by Fruit Yield and Pruning. *HortScience*, 50(3), 474–478. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.3.474>
- Figueiredo, T. de, Fonseca, F., & Nunes, L. (2015). Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal. In T. de Figueiredo, F. Fonseca, & L. Nunes (Eds.), *Proteção do solo e combate à desertificação: Oportunidade para as regiões transfonteiriças* (1st ed., pp. 87–99). Bragança, Pt: Instituto Politécnico de Bragança.
- Finlay, R. D. (2006). The fungi in soil. In J. D. Van Elsas, J. K. Jansson, & J. T. Trevors (Eds.), *Modern soil microbiology* (2nd ed., pp. 108–142). Boca Raton, EUA: Crc Press.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). Scarcity and degradation of land and

water: growing threat to food security. Retrieved from <http://www.fao.org/news/story/en/item/95153/icode/>

- Freeman, M., Uriu, K., & H. T. Hartmann. (2005). Diagnosing and correcting nutrient problems. In G. S. Sibbett & L. F. Fergunson (Eds.), *Olive production manual* (2nd ed.). Califórnia, EUA: Univ. California, Publication 3353.
- Freitas, R. E., & Mendonça, M. A. A. de. (2016). Expansão agrícola no Brasil e a participação da soja: 20 anos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 54(3), 497–516.
- Fullen, M. A., & Catt, J. A. (2004). *Soil management: problems and solutions*. (M. A. Fullen & J. A. Catt, Eds.) (1st ed.). Londres, UK: Arnold.
- Gamper, H., Peter, M., Jansa, J., Lüscher, A., Hartwig, U. A., & Leuchtman, A. (2004). Arbuscular mycorrhizal fungi benefit from 7 years of free air CO<sub>2</sub> enrichment in well-fertilized grass and legume monocultures. *Global Change Biology*, 10(2), 189–199. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00734.x>
- Garcia, K., & Zimmermann, S. D. (2014). The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. *Frontiers in Plant Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00337>
- Garrett, s. d. (1981). *Soil fungi and soil fertility* (2nd ed.). Oxford, UK: Pergamon Press.
- Gildon, A., & Tinker, P. B. (1983). Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and heavy metals in plants. I. The effects of heavy metals on the development of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *New Phytologist*, 95(2), 247–261. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1983.tb03491.x>
- Gomes, M. T. G., Luz, A. C. da, Santos, M. R. dos, Batitucci, M. do C. P., Silva, D. M., & Falqueto, A. R. (2012). Drought tolerance of passion fruit plants assessed by the OJIP chlorophyll a fluorescence transient. *Scientia Horticulturae*, 142, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.026>
- Google earth. (2018). Localização das estufas. Retrieved December 17, 2018, from <https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/>
- GPP. (2007). Olivicultura: Diagnóstico sectorial 2007. *Gabinete de Planeamento e Políticas*, 52.
- Green, P. S. (2002). A revision of *Olea* L. (Oleaceae). *Kew Bulletin*, 57(1), 91–140. <https://doi.org/10.2307/4110824>
- Gregorich, E. G., Monreal, C. M., Carter, M. R., Angers, D. A., & Ellert, B. H. (1994). Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 74(4), 367–385. <https://doi.org/10.4141/cjss94-051>
- Guerrero, A. (1997). *Nueva olivicultura* (4th ed.). Madrid, ES: Mundi-Prensa.
- 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)
- Harley, J. L., & Smith, S. e. (1983). *Mycorrhizal symbiosis* (1st ed.). Londres, UK: Academic Press.

- Harrison, M. J. (2005). Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology*, 59(1), 19–42. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.58.030603.123749>
- Hawksworth, D. L. (2001). The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *The British Mycological Society*, 105(12), 1422–1432. <https://doi.org/10.1017/S0953756201004725>
- Herrmann, L., & Lesueur, D. (2013). Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(20), 8859–8873. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5228-8>
- Hibbett, D. S., Binder, M., Bischoff, J. F., Blackwell, M., Cannon, P. F., Eriksson, O. E., ... Zhang, N. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the fungi. *Mycological Research*, 111(5), 509–547. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2007.03.004>
- Hoffmann, L. V., & Lucena, V. S. (2006). *Para entender micorrizas arbusculares. Documentos 156*. Campina Grande, PB, Br. Retrieved from <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/276480/1/DOC156.pdf>
- Hornby, D. (1990). Root diseases. In *The rhizosphere* (1st ed., pp. 233–258). Ingleterra: Wiley.
- Hu, J., Lin, X., Wang, J., Dai, J., Cui, X., Chen, R., & Zhang, J. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungus enhances crop yield and P-uptake of maize (*Zea mays* L.): A field case study on a sandy loam soil as affected by long-term P-deficiency fertilization. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(12), 2460–2465. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.09.002>
- Instituto Nacional de Estatísticas. (2017). Estatísticas Agrícolas 2017. Lisboa, Pt: INE.
- Johnson, D. L., Ambrose, S. H., Bassett, T. J., Bowen, M. L., Crummey, D. E., Isaacson, J. S., Winter-Nelson, A. E. (1997). Meanings of environmental terms. *Journal of Environment Quality*, 26(3), 581–589. <https://doi.org/10.2134/jeq1997.00472425002600030002x>
- Jones Jr, J. B. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis* (1st ed.). London, New York, Washington Dc: Crc Press Llc.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4–10.
- King, J. R. (1938). Morphological development of the fruit of the olive. *Hilgardia*, 11(8), 437–458.
- Koide, R. T. (1991). Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist*, 117(3), 365–386. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1991.tb00001.x>
- Koller, R., Rodriguez, A., Robin, C., Scheu, S., & Bonkowski, M. (2013). Protozoa enhance foraging efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi for mineral nitrogen from organic matter in soil to the benefit of host plants. *New Phytologist*, 199(1), 203–211. <https://doi.org/10.1111/nph.12249>

- Krugner, T. L., & Bacchi, L. M. A. (1995). Fungos. In A. Bergamin filho, H. Kimati, & L. Amorim (Eds.), *Manual de fitopatologia* (1st ed., pp. 46–95). São Paulo, Br: Agronômica Ceres Ltda.
- Kumari, M., Prasad, H., & Kumari, S. (2017). Association of am ( arbuscular mycorrhizal ) fungi in fruit crops production : A review. *The Pharma Innovation Journal*, 6(6), 204–208.
- Lal, R. (1998). *Soil quality and agricultural sustainability* (1st ed.). Chelsea, Eua: Ann Arbor Press.
- Lal, R. (2009). Soils and sustainable agriculture: A Review. In E. Lichtfouse (Ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (1st ed., pp. 15–24). França: Springer.
- 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>
- Leifheit, E. F., Verbruggen, E., & Rillig, M. C. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi reduce decomposition of woody plant litter while increasing soil aggregation. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 323–328. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.12.003>
- Lierop, W. Van. (1990). Soil pH and lime requirement determination. In R. L. Westerman (Ed.), *sssa book series: 3soil testing and plant analysis* (3rd ed., pp. 73–120). Madison, EUA: Soil Science Society of America.
- Lopez-Ridaura, S., Masera, O., & Astier, M. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. *Ecological Indicators*, 2(1–2), 135–148.
- Lu, C., & Zhang, J. (2000). Ph plantotosynthetic CO2 assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maizes. *Plant Science*, 151(2), 135–143. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00207-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00207-1)
- Lucena, B., Manrique, T., & Méndez, M. ánguel. (2017). La olivicultura en el mundo y en españa. In D. Barranco, R. Fernández-Escobar, & L. Rallo (Eds.), *El cultivo del olivo* (7th ed., pp. 1–33). Madrid, ES: Ediciones Mundi-prensa.
- Madeira, M., & Ricardo, R. P. (2015). Complexo de troca, classificação e gestão dos Solos Ferralíticos de Angola. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(3), 390–406. Retrieved from <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v38n3/v38n3a14.pdf>
- Maia, L. C., & Carvalho Junior, A. A. (2010). Os fungos do Brasil. In R. . et. al Forzza (Ed.), *Catalogo de plantas e fungos do Brasil* (1st ed., Vol. 1, pp. 43–48). Rio de Janeiro, Br. Retrieved from <http://reflora.jbrj.gov.br/downloads/vol1.pdf>
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159(1), 89–102. <https://doi.org/10.1007/BF00000098>
- Marschner, P., Solaiman, Z., & Rengel, Z. (2005). Growth, phosphorus uptake, and rhizosphere microbial-community composition of a phosphorus-efficient wheat cultivar in soils differing in pH. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(3), 343–351. <https://doi.org/10.1002/jpln.200424101>
- Mechri, B., Attia, F., Tekaya, M., Cheheb, H., & Hammami, M. (2014). Colonization of olive trees (*Olea europaea* L.) with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus* sp.

- modified the glycolipids biosynthesis and resulted in accumulation of unsaturated fatty acids. *Journal of Plant Physiology*, 171(14), 1217–1220. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.04.005>
- Meddad-Hamza, A., Beddiar, A., Gollotte, A., Lemoine, M. C., Kuszala, C., & Gianinazzi, S. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth of olive trees and their resistance to transplantation stress. *African Journal of Biotechnology*, 9(8)(8), 1159–1167. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1282>
- Mekahlia, M. N., Beddiar, A., & Chenchouni, H. (2013). Mycorrhizal dependency in the olive tree (*Olea europaea*) across a xeric climatic gradient. *Advances in Environmental Biology*, 7(9), 2166–2174.
- Millar, N. S., & Bennett, A. E. (2016). Stressed out symbiotes: hypotheses for the influence of abiotic stress on arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*, 182(3), 625–641. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3673-7>
- Miransari, M. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi and uptake of nutrients. In *Symbiotic Endophytes* (Vol. 37, pp. 253–270). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39317-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39317-4_13)
- Mohammadi, K., Khalesro, S., Sohrabi, Y., & Heidari, G. (2011). A review : Beneficial effects of the mycorrhizal fungi for plant growth. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1(May 2014), 310–319.
- Monteiro, A. M. (1999). *A Oliveira* (1st ed.). Mirandela, Pt: Leader Iii.
- Moreno-Alías, I., León, L., De La Rosa, R., & Rapoport, H. F. (2009). Morphological and anatomical evaluation of adult and juvenile leaves of olive plants. *Trees - Structure and Function*, 23(1), 181–187. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0266-z>
- Moreno-Alías, I., Rapoport, H. F., & Martins, P. C. (2012). Morphological limitations in floral development among olive tree cultivars. *Acta Horticulturae*, 932(1), 23–28. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167591>
- Muthukrishnan, G., Gopalasubramaniam, S. K., & Perumal, P. (2018). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi for heavy metal-polluted soil management. In P. D., J. Y., S. H., & V. R. (Eds.), *Microorganisms for Sustainability* (1st ed., pp. 91–113). Singapore: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7146-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7146-1_5)
- Nogueira, M. A., Nehls, U., Hampp, R., Poralla, K., & Cardoso, E. J. B. N. (2007). Mycorrhiza and soil bacteria influence extractable iron and manganese in soil and uptake by soybean. *Plant and Soil*, 298(1–2), 273–284. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9379-1>
- Opti-Sciencesinc. (2012). Os-30p+ chlorophyll fluorometer: Chlorophyll fluorescence. Hudson, EUA: Opti-sciences. Retrieved from <https://geomor.com.pl/wp-content/uploads/2017/05/OS-30P-Manual.pdf>
- Ortas, I. (2018). Role of mycorrhizae on mineral nutrition of fruit trees. *Acta Horticulturae*, (1217), 271–284. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1217.34>
- Ortas, I., Akpınar, Ç., & Demirbas, A. (2015). Effect of mycorrhizal species on growth and nutrient uptake by seedlings of Citrus (*Citrus sinensis*) under three soil growth conditions. *Current Horticulture*, 2(3), 61–64. Retrieved from <http://www.currenthorticulture.com/Data/Current-Hort-Vol-3-2-Jul-Dec-2015.pdf>

- 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(10), 1199–1207. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1455849>
- Ouledali, S., Ennajeh, M., Zrig, A., Gianinazzi, S., & Khemira, H. (2018). Estimating the contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to drought tolerance of potted olive trees (*Olea europaea*). *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(5), 80–93. <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2656-1>
- Paul, e. a., & Clark, f. e. (1996). *Soil microbiology and biochemistry* (2nd ed.). Califórnia, EUA: Academic Press.
- Porras-Soriano, A., Soriano-Martín, M. L., Porras-Piedra, A., & Azcón, R. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi increased growth, nutrient uptake and tolerance to salinity in olive trees under nursery conditions. *Journal of Plant Physiology*, 166(13), 1350–1359. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.02.010>
- Portela, E., & Louzada, J. (2007). Deficiências de magnésio em solos e culturas do Norte de Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, 30(2), 67–86.
- Portela, E., Roboredo, M., & Louzada, J. (2003). Assessment and description of magnesium deficiencies in chestnut groves. *Journal of Plant Nutrition*, 26(3), 503–523. <https://doi.org/10.1081/PLN-120017662>
- Rapoport, H. F., & Moreno-Alías, I. (2017). Botánica y Morfología. In D. Barranco, R. Fernández-Escobar, & L. Rallo (Eds.), *El cultivo del olivo* (7th ed., pp. 37–63). Madrid, ES: Ediciones Mundi-prensa.
- Reeuwijk, L. P. Van. (2002). *Procedures Fos Soil Analysis. procedures for soil analysis* (6th ed.). Wageningen, NL: Isric, FAO.
- Reid, C. P. P. (1990). Mycorrhizas. In J. M. Lynch (Ed.), *The rhizosphere* (pp. 281–315). Inglaterra: Wiley.
- Reis, P. (2014). *O olival em Portugal dinâmicas, tecnologias e relação com o desenvolvimento rural*. (A.-A. P. P. O. D. Local, Ed.) (1st ed.). Lisboa, Pt: Rainho & Neves, LDA.
- Remy, W., Taylort, T. N., Hass, H., & Kerp, H. (1994). Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of National Academy of Sciences, USA*, 91(91), 11841–11843. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.25.11841>
- Richardson, A. E. (2001). Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Functional Plant Biology*, 28(9), 897. <https://doi.org/10.1071/pp01093>
- Rodrigues, M. Â., & Arrobas, M. (2011). O fenômeno da safra e contra-safra em olival. *Oleavitis*, 1(8), 10–12. Retrieved from [https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/6401/3/Oleavitis safra.pdf](https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/6401/3/Oleavitis%20safra.pdf)
- Rodrigues, M. Â., & Arrobas, M. (2013). *Principais problemas nutricionais dos olivais transmontanos e que quantidades de fertilizantes aplicar*. Bragança, Pt. Retrieved from [https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/10166/1/11 Onze.pdf](https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/10166/1/11%20Onze.pdf)
- Rodrigues, M. Â., Ferreira, I. Q., Claro, A. M., & Arrobas, M. (2012). Fertilizer

- recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. *Scientia Horticulturae*, 142, 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.024>
- Rodrigues, M. Â. R., & Correia, C. M. (2009). *Manual da safra e contra safra do olival*. (Instituto Politécnico de Bragança, Ed.).
- Rodriguez, R. J., Redman, R. S., & Henson, J. M. (2004). The role of fungal symbioses in the adaptation of plants to high stress environments. *Mitigation And Adaptation Strategies For Global Change*, 9(3), 261–272.
- SBCS, S. B. de C. do S. (2004). *Manual de adubação e de calagem*. (Marino J. Tedesco, C. Gianello, I. Anghinoni, C. A. Bissani, F. A. O. Camargo, & S. Wiethölter, Eds.), *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo* (Vol. 10 ed.). Porto Alegre, Brasil. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.07.005>
- Sims, J. T. (1996). Lime Requirement. In D. . et al Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 3—Chemical Methods* (1st ed., pp. 491–515). Madison, EUA: Sssa Book.
- Smith, S. e., & Read, D. . (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). San Diego, EUA: Academic Press.
- Sopher, C. D., & Baird, J. V. (1982). *Soils & soil management* (2nd ed.). Virginea, EUA: Reston Publishing Company.
- Sousa, F. lima da, Soares, A. C. F., & Silva, C. da. (2013). Ocorrência e atividade de fungos micorrizicos arbusculares em plantios de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) no litoral norte da. *Revista Arvore*, 37(2), 245–255. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84879495581&partnerID=40&md5=841d9e7ea7ecf258a5d37dbb20d9770c>
- Stangel, P., Pieri, C., & Mkwunye, U. (1994). Maintaining nutrient status of soil: macronutrients. In D. J. Greenland & I. Szabolcs (Eds.), *Soil resilience and sustainable land use* (1st ed., pp. 171–197). Florence, EUA: Cab International.
- Stevenson, F. j., & Cole, M. a. (1999). *Cycles of soil* (2nd ed.). Illinois, EUA: John Wiley & Sons, Inc.,.
- Sun, X. guang, Bonfante, P., & Tang, M. (2015). Effect of volatiles versus exudates released by germinating spores of *Gigaspora margarita* on lateral root formation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 97, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.09.010>
- Tabatabai, M. A., & Bremner, J. M. (1969). Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1(4), 301–307. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(69\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(69)90012-1)
- Tekaya, M., Mechri, B., Mbarki, N., Cheheb, H., Hammami, M., & Attia, F. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* influences key physiological parameters of olive trees (*Olea europaea* L.) and mineral nutrient profile. *Photosynthetica*, 55(2), 308–316. <https://doi.org/10.1007/s11099-016-0243-5>
- Tiessen, H., Stewart, J. w. ., & Anderson, D. w. (1994). Determinants of resilience in soil nutrient dynamics. In D. J. Greenland & I. Szabolcs (Eds.), *Soil resilience and sustainable land use* (1st ed., pp. 157–170). Saskatoon, Ca: Cab International.

- Tisdall, J. . (1991). Fungal hyphae and structural stability of soil. *Soil Research*, 29(6), 729–743.
- Tisdall, J. M. (1994). Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant and Soil*, 159(1), 115–121. <https://doi.org/10.1007/BF00000100>
- Turnau, K. (1998). Heavy metal content and localization in mycorrhizal *Euphorbia cyparissias* zinc wastes in southern Poland. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. <https://doi.org/10.5586/asbp.1998.014>
- van Aarle, I. M., & Plassard, C. (2010). Spatial distribution of phosphatase activity associated with ectomycorrhizal plants is related to soil type. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(2), 324–330. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.011>
- van de Geijn, S. C., & van Veen, J. A. (1993). Implications of increased carbon dioxide levels for carbon input and turnover in soils. *Vegetatio*, 104(105), 282–292.
- Vargas, L. K., & Scholles, D. (2000). Biomassa microbiana e produção de c-co2 e n mineral de um podzólico vermelho-escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 35(2), 35–42.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant And Soil*, 255(1), 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Vieira, V. C. S., Melloni, R., & Neto, J. V. (2011). Avaliação da interação micorrízica em cultivares de oliveira (*Olea europea* L.). *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 35(6), 1885–1892.
- Warcup, J. H. (1951). The ecology of soil fungi. *Transactions of the British Mycological Society*, 34(3), 376–399. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(51\)80065-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(51)80065-2)
- Webster, J., & Weber, R. W. S. (2006). *Introduction to fungi* (3rd ed.). Cambridge, UK: Cambridge.
- Werner, S., Polle, A., & Brinkmann, N. (2016). Belowground communication: impacts of volatile organic compounds (VOCs) from soil fungi on other soil-inhabiting organisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(20), 8651–8665. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7792-1>
- Wilcox, H. E. (1996). Mycorrhizae. In Y. Waisel, A. Eshel, & U. Kafkafi (Eds.), *Plant roots: The hidden half*. (2nd ed., pp. 689–722). Nova Iorque, EUA: Marcel Dekker.
- Wolf, B. (1974). Communications in soil science and plant analysis improvements in the azomethine - H method for the determination of boron. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*, 5(1), 37–41.
- World Commission On Environment And Development. (1987). Report of the world commission on environment and development: Our common future. Oslo, No. Retrieved from [http://mom.gov.af/Content/files/Bruntland\\_Report.pdf](http://mom.gov.af/Content/files/Bruntland_Report.pdf)
- Wright, S. F., & Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin , a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198, 97–107.
- Wu, Q. S., & Zou, Y. N. (2010). Beneficial roles of arbuscular mycorrhizas in citrus seedlings at temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 289–293. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.04.001>

- Wu, Q., & Zou, Y.-N. (2012). Evaluating effectiveness of four inoculation methods with arbuscular mycorrhizal fungi on trifoliolate orange seedlings. *International Journal Of Agriculture & Biology*, 14(January 2012), 266–270.
- Yamagiwa, Y., Inagaki, Y., Ichinose, Y., Toyoda, K., Hyakumachi, M., & Shiraishi, T. (2011). *Talaromyces wortmannii* FS2 emits  $\beta$ -caryphyllene, which promotes plant growth and induces resistance. *Journal of General Plant Pathology*, 77(6), 336–341. <https://doi.org/10.1007/s10327-011-0340-z>
- Zhan, F., Li, B., Jiang, M., Yue, X., He, Y., Xia, Y., & Wang, Y. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance antioxidant defense in the leaves and the retention of heavy metals in the roots of maize. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(24), 24338–24347. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2487-z>
- Zuberer, D. A. (1990). Soil and rhizosphere aspects of N<sub>2</sub>-fixing plant-microbe association. In J. M. Lynch (Ed.), *The rhizosphere* (1st ed., pp. 317–353). Ingleterra: Wiley.