

RESPOSTA DO CASTANHEIRO EUROPEU À APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES MINERAIS

Mariah Ruaro Busato

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

Orientação

Prof^ª. Dra Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues - IPB

Coorientação

Prof. Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues - IPB

Prof^ª. Dra Taciane Finatto – UTFPR

Bragança

2022

MARIAH RUARO BUSATO

RESPOSTA DO CASTANHEIRO EUROPEU À APLICAÇÃO
DE FERTILIZANTES MINERAIS

Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança para obtenção do Graude Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof^ª. Dra. Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues.

Coorientadores: Prof. Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues.

Prof^ª. Dra. Taciane Fianatto.

BRAGANÇA

2022

Dedico este trabalho, com todo meu coração às minhas avós Lori e Zeide.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela proteção e pela saúde. Também agradeço por iluminar meu caminho, guiar minhas escolhas e me amparar nos momentos em que mais precisei.

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível graças a uma parceria entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e o Instituto Politécnico de Bragança (IPB). Agradeço pela oportunidade e por todo conhecimento adquirido durante o programa de dupla diplomação.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Dra. Margarida Arrobas e Prof. Dr. Manuel Ângelo Rodrigues, pela atenção, orientação e conhecimento compartilhados nesta etapa. Ao laboratório de solos da Escola Superior Agrária, e aos que me auxiliaram na parte prática, a técnica Rita Diz, a engenheira Ana Pinto e a Soraia de Lurdes Raimundo, deixo meus sinceros agradecimentos. Agradeço à minha co-orientadora do Brasil, Prof. Dra. Taciane Finatto, que sempre transmitiu conhecimento, apoio e conselhos, favorecendo na minha formação profissional e pessoal.

À minha mãe, Maria Cristina, ao meu pai, Darlan e ao meu irmão Mateus, obrigada por acreditarem nesse sonho e por me encorajarem a vivê-lo. O amor, cuidado e carinho de vocês foi essencial nessa etapa. Vocês são minha base e nada disso seria possível sem o suporte de vocês.

Agradeço minhas avós, Lori e Zeide, que foram minha inspiração para a realização deste trabalho. Vocês são sinônimo de amor puro e paz, as orações e boas energias foram essenciais para me manterem firme nesta fase. Também agradeço às minhas dindas, Rejane e Rossana, que sempre se fizeram presente e me aconselharam quando necessário.

Às amigas de longa data, Isadora B., Júlia, Larissa, Laurea e Marina, agradeço por nunca duvidarem de mim e pelo incentivo nesta etapa. Obrigada pela cumplicidade, lealdade e respeito de sempre.

Agradeço à minha colega de graduação Isadora A., que sonhou junto comigo com este momento e juntamente com Ana Carolina, Cristiano e Jaqueline, dividimos apartamento e nos tornamos família. Obrigada pela paciência, incentivo, por tornarem minha rotina mais leve e por me acolherem nos momentos difíceis.

Às amigas que fiz e fortaleci nesta etapa, Ana Flávia, Dalila, Elias, Kelly, Lucas M., Lucas P., Marcelo e Maria Eduarda. Levarei cada um e as nossas memórias no meu coração, aprendi muito com vocês, foram meu porto-seguro em Bragança.

Por fim, agradeço a todos que me auxiliaram para a realização deste trabalho e que contribuíram para minha formação acadêmica.

Esta dissertação foi integrada nas atividades do Grupo operacional EGIS, estratégias para a gestão do solo e da água em espécies produtoras de frutos secos (Iniciativa ID 91).

RESUMO

O castanheiro europeu (*Castanea sativa* Mill.) é uma dicotiledônea pertencente à família Fagaceae. Seus frutos são de extrema importância para a economia das regiões produtoras e possuem efeitos positivos na alimentação humana. Nas técnicas de cultivo, deve-se sempre buscar por uma fertilização adequada, que irá auxiliar a regular a concentração de nutrientes nos tecidos e a produtividade. Sendo assim, a procura dos agricultores por fertilizantes de síntese industrial tem aumentado, principalmente por adubos compostos, que tendem a constituir adubações mais abrangentes. No presente trabalho testaram-se três formulações comerciais NPK em comparação com uma testemunha não fertilizada. O ensaio foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado e foram selecionadas 16 árvores, as quais foram sorteadas em quatro grupos, que correspondem aos tratamentos. Os tratamentos utilizados foram: adubo 7-14-14; YaraMila™ ACTYVA 20-7-10; YaraMila™ SÓLAN 13-11-21; e testemunha (não recebeu fertilizante). Os fertilizantes foram aplicados anualmente debaixo da copa à razão de 4 kg de adubo por árvore. Amostras de folhas foram coletadas em julho de todos os anos e as castanhas colhidas em novembro. Para a realização das análises químicas do fruto separou-se a casca do miolo. Os nutrientes que tiveram maior impacto sobre o castanheiro foi o nitrogênio e o boro. Outra variável que se notabilizou foi a intensidade da cor verde das folhas, que está relacionada à quantidade nitrogênio nos tecidos. Ao se falar da produção, com o passar dos anos houve uma redução da testemunha em relação aos tratamentos fertilizados. Contudo, percebe-se uma resposta fraca do castanheiro aos fertilizantes, talvez devido a serem árvores muito grandes, exercendo as partes perenes um efeito tampão sobre a concentração dos nutrientes nas folhas. Assim, recomenda-se aos agricultores planos de adubação abrangentes, que envolvam análises recorrentes do solo e das folhas.

Palavras-chave: *Castanea sativa*; análise foliar; fertilidade do solo; produção de castanha; valores SPAD

ABSTRACT

European chestnut (*Castanea sativa* Mill.) is a dicotyledonous species that belongs to the Fagaceae family. Its fruits are extremely important to the economy of the region in addition to having a positive effect on human's nutrition. In cultivation techniques, it is recommendable seeking for an adequate fertilization, which may help to regulate tissue nutrient concentration and crop productivity. Therefore, the demand of farmers for industrial fertilizers has increased, mainly for compound NPK fertilizers, which correspond to a more complete fertilization. In the present study three popular commercial NPK formulations were tested in comparison to an unfertilized control. The experiment was carried out in a completely randomized design, and 16 trees were selected and randomly assigned to four groups, which correspond to the treatments. The treatments used were: fertilizer 7-14-14; YaraMila™ ACTYVA 20-7-10; YaraMila™ SOLAN 13-11-21; and an untreated control (which did not receive fertilizer). The fertilizers were applied annually under the tree's canopy at a rate of 4 kg of fertilizer per tree. Leaf samples were collected every year in July and nuts were collected in November. To perform the elemental analysis of the fruit, the skin was separated from the kernel. The nutrients that had the greatest impact on the chestnut tree were nitrogen and boron. Another variable to be highlighted is the greenness or of the leaves, which is related to the amount of nitrogen in the tissues. Regarding nut yield, the control treatment displayed a slight decrease over the years in comparison with the fertilized treatments. However, in general terms, the response of chestnut to fertilization was poor, which was probably due to the buffering effect on the perennial structure on the remobilization of nutrients within the canopy. Therefore, farmers are recommended to base their fertilization plans on regular soil and leaf analyses

Key words: *Castanea sativa*; leaf analysis; soil fertility; chestnut production; SPAD values.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das DOP's em Portugal (Costa, 2020).	20
Figura 2. Valores da normal climatológica e registros meteorológicos durante o período experimental	24
Figura 3. Separação da casca do miolo.....	25
Figura 4. Estufas onde as amostras foram depositadas	26
Figura 5. Equipamento utilizado para moer folhas, cascas e miolos.....	26
Figura 6. Equipamento utilizado para a determinação de nitrogênio	27
Figura 7. Amostras com 0,10 g de óxido de cálcio	28
Figura 8. Concentração de nitrogênio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha sólida corresponde ao limite superior do intervalo de suficiência, enquanto a linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.	33
Figura 9. Concentração de fósforo nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	34
Figura 10. Concentração de potássio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	35
Figura 11. Concentração de cálcio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	35
Figura 12. Concentração de magnésio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha a tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	36
Figura 13. Concentração de boro nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	37
Figura 14. Concentração de ferro nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	38
Figura 15. Concentração de manganês nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha sólida corresponde ao limite superior do intervalo de suficiência, enquanto a linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.	38
Figura 16. Concentração de zinco nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha a tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	39
Figura 17. Concentração de cobre nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.....	40
Figura 18. Produtividade da castanha em função do ano de amostragem e dos tratamentos com fertilizante.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Forma iônica preferencial dos nutrientes absorvidos pelas plantas.....	15
Tabela 2. Valores SPAD nas folhas do castanheiro em função dos tratamentos fertilizantes	41
Tabela 3. Carbono (C) orgânico, pH e fósforo (P) e potássio (K) extraíveis (Egner-Riehm) em função dos tratamentos fertilizantes.	42
Tabela 4. Bases de troca, acidez de troca (AT) e capacidade de troca catiônica (CTC) em função dos tratamentos fertilizantes.	43
Tabela 5. Boro, ferro, zinco, cobre e manganês no solo em função dos tratamentos fertilizantes.	44
Tabela 6. Íon amônio (NH_4^+) no solo extraído com cloreto de potássio a quente (Q) e a frio (F) e NH_4^+ hidrolisável (Hid) (NH_4^+ Q – NH_4^+ F) e nitrato extraído com cloreto de potássio a frio.	45

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. NUTRIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS.....	13
2.1.1. Conceito de elemento essencial.....	13
2.1. 2. Disponibilidade de nutrientes no solo	15
2.1.3. Exportação de nutrientes na colheita.....	16
2.2. FERTILIZANTES MINERAIS	18
2.2.2. Fertilizantes elementares e compostos	18
2.3. A CULTURA DO CASTANHEIRO.....	19
2.4. FERTILIZAÇÃO DO CASTANHEIRO.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	23
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	23
3.3. MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO	25
3.4. COLHEITA E PREPARO DAS AMOSTRAS	25
3.5. ANÁLISES LABORATORIAIS DOS TECIDOS VEGETAIS	27
3.5.1. Determinação do nitrogênio	27
3.5.2. Determinação do boro	28
3.5.3. Determinação de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês.....	28
3.5.4. Medição da intensidade da cor verde das folhas	29
3.6. ANÁLISES LABORATORIAIS DE SOLOS	29
3.6.1. Determinação do pH.....	29
3.6.2. Determinação de capacidade de troca catiônica.....	30
3.6.3. Determinação da acidez de troca.....	30
3.6.4. Determinação de fósforo e potássio extraíveis.....	30
3.6.5. Determinação de micronutrientes.....	30
3.6.6. Nitrogênio inorgânico no solo.....	31
3.7. ANÁLISE DE DADOS	31
4. RESULTADOS	32
4.1. CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS	32
4.1.1. Concentração de nitrogênio nas folhas.....	32
4.1.2. Concentração de fósforo nas folhas	33

4.1.3. Concentração de potássio nas folhas	34
4.1.4. Concentração de cálcio nas folhas	34
4.1.5. Concentração de magnésio nas folhas.....	35
4.1.6. Concentração de boro nas folhas.....	36
4.1.7. Concentração de ferro nas folhas	37
4.1.8. Concentração de manganês nas folhas	37
4.1.9. Concentração de zinco nas folhas	39
4.1.10. Concentração de cobre nas folhas	39
4.2. AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DA COR VERDE DAS FOLHAS	40
4.3. PROPRIEDADES DO SOLO	41
4.3.1. Carbono orgânico, pH, fósforo e potássio extraíveis (Egner-Riehm).....	41
4.3.2. Bases de troca, acidez de troca e capacidade de troca catiônica	42
4.3.3. Concentração de micronutrientes no solo	43
4.4.4. Amônio extraído a quente e a frio, amônio hidrolisável e nitrato extraído a frio	44
4.4. PRODUTIVIDADE.....	45
5. DISCUSSÃO.....	46
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

O castanheiro europeu (*Castanea sativa* Mill.) é uma dicotiledónea arbórea da família Fagaceae. Seus frutos desempenham funções importantes na alimentação humana, decorrente de sua composição nutricional e de seus efeitos positivos à saúde. Além disso, é reconhecido pela qualidade da madeira produzida.

O castanheiro é uma espécie importante para a economia de Portugal, principalmente na região de Trás-os-Montes. As castanhas produzidas são consideradas de alta qualidade e reconhecidas no mercado internacional, sendo reconhecidas pela União Europeia com uma Denominação de Origem Protegida (DOP) Castanha da Terra Fria. Conforme dados publicados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE, 2021) a área de castanheiro aumentou cerca de 53,2% em relação ao Recenseamento Agrícola efetuado 10 anos antes.

Por esse motivo, muitos agricultores em Portugal estão implantando e remanejando pomares com sistemas mais intensivos de produção, com compasso de 8 m x 8 m ou até menores. Ademais, os produtores estão focando mais na fertilização, na poda e na colheita mecanizada (Arrobas et al., 2018).

É de extrema importância manter os estudos relacionados à fertilização em castanheiro, visto que essa cultura sempre foi considerada marginal e pouco fertilizada. Contudo, com o passar dos anos o castanheiro recebeu mais atenção no que se refere a sua adubação, passando a receber aplicações de fertilizantes de síntese industrial mais elaborados (Arrobas et al., 2017).

Diante disso, pode-se falar do uso de fertilizantes compostos, que possuem diferenciais atrativos em relação aos adubos elementares devido ao fato de realizarem adubações abrangentes, de não necessitarem a mistura de adubos e conseqüentemente, menores quantidades.

Neste trabalho, serão testadas três formulações comerciais NPK populares entre os agricultores da região, em comparação com uma modalidade testemunha não fertilizada, com o objetivo de avaliar os seus efeitos na produção de castanha. Visto isso, as diferentes formulações fertilizantes serão avaliadas para os efeitos na produção de castanha, estado nutricional das árvores, e propriedades do solo. O presente estudo pretende auxiliar os agricultores na tomada de decisão em relação à fertilização da cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contextualiza, através de um referencial teórico, conceitos considerados essenciais para o entendimento deste trabalho. Desde abordagens básicas, que irá envolver a nutrição mineral das plantas, elementos essenciais e disponibilidade de nutrientes no solo, até a parte que engloba a fertilização em castanheiro europeu, que é o principal foco do estudo.

2.1. NUTRIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS

Pode-se explicar nutrição vegetal como um conjunto de fenômenos pelos quais uma planta retira de seu entorno substâncias fundamentais para seu metabolismo, crescimento e produção (Santos & Quelhas, 2012). Contudo, cada espécie irá necessitar de uma nutrição mineral adequada para seu crescimento e desenvolvimento (Kováčik et al., 2007).

A nutrição mineral das plantas abrange quais os elementos essenciais para o seu ciclo de vida, a forma como são absorvidos, translocados, acumulados, suas funções, exigências e as consequências causadas por deficiência ou excesso. O maior interesse dessa área de conhecimento para a agricultura relaciona-se à produtividade das culturas. Visto isso, a deficiência de um elemento pode fazer com que ocorra uma queda na produção. Porém, com o manejo adequado de nutrientes, a produtividade pode ser mantida ou aumentada tanto quantitativamente, quanto qualitativamente, aumentando o valor do produto no mercado (Grassi, 2017).

Destaca-se a necessidade de uma análise de elementos, que irá apontar a composição química de uma determinada planta, para que assim seja possível identificar as proporções em que os elementos minerais são encontrados nos tecidos vegetais (Cámara, 2016)

2.1.1. Conceito de elemento essencial

Um elemento é considerado essencial quando a planta depende dele para sobreviver, sendo assim, esse elemento passará a ser chamado de nutriente. Arnon & Stout (1939) idealizaram critérios diretos e indiretos que fazem com que um elemento químico seja considerado um nutriente, sendo eles:

- Direto, o elemento deve participar de algum composto ou reação do qual a planta depende para sobreviver; e
- Indireto, na falta do elemento a planta não completa o seu ciclo de produção e o elemento não pode ser substituído por nenhum outro, devendo ter um efeito direto na vida da planta.

Conforme Barros (2020), as funções dos nutrientes no metabolismo das plantas podem ser classificadas como estruturais, constituintes de enzimas e ativadores enzimáticos. A primeira envolve a estrutura de um composto orgânico vital para a planta, já os constituintes de enzimas englobam uma estrutura específica, enquanto os ativadores enzimáticos não fazem parte de uma estrutura.

Os elementos essenciais podem ser divididos em macronutrientes e micronutrientes, sendo que esse critério é baseado no fato da planta necessitar de certo elemento em maiores ou menores quantidades. Tanto os macronutrientes, quanto os micronutrientes são fundamentais para o crescimento das plantas. Visto isso, vale ressaltar a “Lei do Mínimo” a qual diz que, se deficiente, qualquer nutriente essencial pode se tornar fator dominante na produtividade das culturas, sendo assim, se houver carência de micronutrientes, o crescimento e o rendimento máximo da planta não será atingido (McClellan et al., 2007).

Ademais, existem diferentes formas em que os elementos podem ser encontrados no meio, porém as plantas possuem preferência por certas formas de absorção (Tabela 1). Nitrogênio, fósforo e potássio são os principais nutrientes que limitam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas (Parry et al., 2005). Visto isso, percebe-se que as respostas das plantas à fertilização com nitrogênio, fósforo e potássio são de extrema importância na agricultura.

Tabela 1. Forma iônica preferencial dos nutrientes absorvidos pelas plantas

Nutriente	Forma iônica
Nitrogênio	NO_3^-
Fósforo	H_2PO_4^-
Potássio	K^+
Cálcio	Ca^{++}
Magnésio	Mg^{++}
Enxofre	SO_4^-
Boro	H_3BO_3
Cloro	Cl^-
Cobre	Cu^{++}
Ferro	Fe^{+++}
Manganês	Mn^{++}
Molibdênio	MoO_4^-
Zinco	Zn^{++}

2.1. 2. Disponibilidade de nutrientes no solo

Pode-se definir como um nutriente disponível às plantas aquele que está presente na solução do solo e que possui mobilidade no sistema radicular. Contudo, para que esse nutriente seja efetivamente absorvido pela raiz, ele deve ser solubilizado, ou seja, irá passar da fase sólida do solo para a solução, após isso, será absorvido e então translocado para que desempenhe sua função na cultura (Comerford, 2005).

Ao se falar de biodisponibilidade de nutrientes no solo, entende-se pela capacidade de um sistema solo-planta em proporcionar os nutrientes essenciais para a planta por um determinado período de tempo (Comerford, 2005). Visto isso, pode-se dizer que o termo biodisponível delimita o termo disponível às ações de fornecimento de nutrientes à plantas.

A disponibilidade de nutrientes da planta está associada ao pH da solução do solo. Sendo assim, a diminuição do pH irá aumentar a solubilidade de Mn, Zn, Cu e Fe. Ao se falar de um pH inferior a 5,5, a tendência para Mn e Zn se encontrarem em níveis tóxicos é alta. Além disso, a disponibilidade de N, K, Ca, Mg e S tende a diminuir à medida que o pH diminui, pois as condições que acidificam o solo, como o clima e a absorção pelas plantas podem remover esses nutrientes e diminuir a atividade microbiana (Hodges, 2010).

A erosão do solo também pode ser considerada um fator que afeta na disponibilidade de nutrientes, isso ocorre, pois esse fenômeno lava a matéria orgânica, além de retirar solo e nutrientes ao sistema, fazendo com que a fertilidade do solo seja reduzida, necessitando fertilizantes adicionais para compensar as perdas de nutrientes.

Outro motivo que interfere na disponibilidade dos nutrientes é a lixiviação, que consiste na perda de nutrientes na água de percolação. Fora os fatores aludidos, também pode-se mencionar a desnitrificação e a volatilização que influenciam na disponibilidade de nitrogênio (Efretuei, 2016).

A desnitrificação representa uma redução biológica de nitratos e nitritos a nitrogênio molecular, causando perdas significativas nos ecossistemas agrícolas e colaborando para a diminuição da eficácia do uso de fertilizantes contendo nitrogênio. Os gases produzidos durante esse processo possuem impacto significativo na química atmosférica e conseqüentemente, um alto significado ambiental (Firestone, 1982).

O nitrogênio pode ser perdido a partir do solo para atmosfera em sua forma de NH_3 , num fenômeno chamado de volatilização. Essas perdas estão relacionadas aos fertilizantes utilizados e a forma como são aplicados, além de condições ambientais, como a velocidade do vento. Visto isso, salienta-se a importância da incorporação dos fertilizantes no solo, que irá diminuir as perdas, bem como a textura, o pH e a umidade do solo (Francis et al., 2008).

2.1.3. Exportação de nutrientes na colheita

A partir do momento em que uma cultura é colhida, nutrientes importantes que foram absorvidos do solo são removidos. Caso esses nutrientes não sejam supridos através da fertilização, o rendimento das culturas se deteriorará com o tempo. Portanto, uma adubação que vise especificamente restituir a exportação demandará menor quantidade de fertilizantes (Resende et al., 2019).

Apesar de que existam limitações devido à influência de fatores como genética, produção e variações sazonais, a estimativa de exportação de nutrientes pelas colheitas sugere a necessidade da reposição por meio de fertilizantes (Cravo & Souza, 1996).

Conforme Gomes-Laranjo et al. (2007) em um estudo de 10 anos em sete soutos de Trás-os-Montes, observou-se que os principais responsáveis à saída de nutrientes no castanheiro foram a lenha de poda e a própria castanha.

2.1.4. Necessidade de fertilização das culturas

Conforme o código de boas práticas agrícolas de Portugal, aprovado através do Despacho n.º 1230/2018 (*Despacho n.º 1230/2018 / DRE*, 2018), fertilizante pode ser definido como qualquer substância com a finalidade manter ou melhorar a nutrição das culturas, seja de forma direta ou indireta.

Atualmente, os fertilizantes asseguram a produtividade agrícola, pois proporcionam os elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das culturas. Sobretudo as cultivares consideradas de alto rendimento necessitam de elevadas quantidades de nutrientes para atingirem todo o seu potencial de produção (Khan et al., 2018). Visto isso, nas últimas décadas, os fertilizantes desempenharam um papel crítico na segurança alimentar global, uma vez que tem sido necessário atender às necessidades da população mundial em rápido crescimento.

O tipo de solo, o teor de nutrientes, o histórico da área em relação a colheitas anteriores, a duração esperada do estágio de crescimento e a variedade de culturas são fatores que influenciam as necessidades de fertilizantes (Firman & Allen, 2007).

Vale ressaltar então a necessidade da reposição dos nutrientes, pois conforme a Food and Agriculture Organization (FAO), a população mundial em 2050 será de 9,1 bilhões, contra os 7,9 bilhões de hoje (Alexandratos & Bruinsma, 2012). Isso representa um aumento de cerca de 15% para os próximos 30 anos.

Visto isso, é fundamental manter e aumentar os rendimentos das culturas, utilizando técnicas que permitam uma produção agrícola eficiente e sustentável, em que os fertilizantes sejam utilizados com máxima eficiência, mas também com respeito pelo ambiente, evitando a aplicação excessiva de algum elemento não necessário à planta (García-Serrano et al., 2009).

2.2. FERTILIZANTES MINERAIS

A divisão dos fertilizantes pode ser feita de acordo com a sua origem, podendo ser: minerais; orgânicos; e organominerais. Os primeiros de origem mineral são obtidos por meio de processos industriais físicos e/ou químicos. Já os fertilizantes orgânicos são de origem animal e/ou vegetal, enquanto os fertilizantes organominerais são aqueles obtidos por meio da mistura mecânica de fertilizantes minerais orgânicos (Decreto-Lei n.º 103/2015).

Os fertilizantes minerais são os mais utilizados na agricultura devido ao seu alto teor em nutrientes, menor custo por unidade de elemento, menor teor de umidade, efeito vegetativo geralmente mais rápido e custos de produção, transporte e aplicação menores em relação aos orgânicos (Ladeira, 2017).

Em 2019, Portugal foi o estado da União Europeia com menor consumo de fertilizantes minerais (nitrogênio e fósforo), registrando um consumo aparente de 31 kg por hectare de superfície agrícola utilizada, menos de metade da média da União Europeia, a qual foi de 68 kg (INE, 2021).

A fertilização pode ser feita no solo ou via foliar. Contudo, a base deve ser feita com a aplicação ao solo, pois tende à estimular o desenvolvimento do sistema radicular da planta. Já a adubação foliar recomenda-se ser feita como um complemento, pois as folhas irão absorver nutrientes de forma rápida e efetiva. Por outro lado, não irá disponibilizar quantidades suficientes de macronutrientes (Arrobas et al., 2017).

2.2.2. Fertilizantes elementares e compostos

Os adubos podem ser divididos em elementares e compostos. Os primeiros, como o próprio nome diz são aqueles que fornecem individualmente os macronutrientes primários, designadamente nitrogênio, fósforo ou potássio. Como exemplo pode-se citar o adubo nitrato de amónio 20,5% que é um adubo elementar nitrogenado que doseia 20,5 kg de N por 100 kg de adubo. Os compostos são os mais utilizados, pois podem ter fórmulas que incluem dois ou três dos macronutrientes primários em diferentes proporções, um adubo 10-10-10 contém 10% de nitrogênio, 10% de fósforo expresso em P_2O_5 e 10% de potássio expresso em K_2O (Arrobas, 2010).

Existem vantagens e desvantagens do uso de adubos compostos em relação aos elementares. O fato de não exigirem a mistura de adubos e permitirem ao agricultor realizar adubações mais abrangentes pode ser citado como uma grande vantagem. Por outro lado, o fato de possuírem menor percentual de macronutrientes secundários e de não se ajustarem facilmente à diversidade de exigências dos vários condicionalismos agroclimáticos e culturais podem ser citadas como uma grande desvantagem (Santos, 2015).

2.3. A CULTURA DO CASTANHEIRO

O castanheiro pertence à família Fagaceae e ao gênero *Castanea*, que inclui espécies frutíferas e não frutíferas. O gênero e a família supracitados envolvem 12 espécies de castanheiros, que estão presentes em diferentes regiões do mundo. Ao se falar de economia, as espécies mais importantes são (Serrano et al., 2001):

- *Castanea crenata* Siebold & Zucc;
- *Castanea mollissima* Blume;
- *Castanea dentata* (Marsh.) Borkausen; e
- *Castanea sativa* Miller.

As duas primeiras prevalecem na Ásia e são produtoras de castanha japonesa e chinesa, enquanto *C. dentata* (Marsh.) Borkausen, é encontrada na América do Norte e produz a castanha americana. A última (*C. sativa*), conhecida como castanheiro europeu é a espécie mais cultivada em Portugal, assim como no resto da Europa e engloba um número de variedades que possuem elevado valor econômico e nutricional (Gomes-Laranjo et al., 2007).

Ainda sobre Portugal, é na região de Trás-os-Montes que está 84% da produção total nacional. Isso deve-se a condições edafoclimáticas adequadas ao seu desenvolvimento vegetativo e frutificação (Borges et al., 2007).

Ademais, existem quatro Denominações de Origem Protegida (DOP), que têm como intuito a preservação e valorização do patrimônio genético do castanheiro, bem como o estabelecimento de regras de produção que façam com que as características diferenciadas de produção entre regiões e regras de mercado sejam claras. Na Figura 1 pode-se observar a localização das DOP's, que são nomeadas como Castanha da Terra Fria, Castanha da Padrela, Castanha dos Soutos da Lapa e Marvão-Portalegre (Couto, 2018).

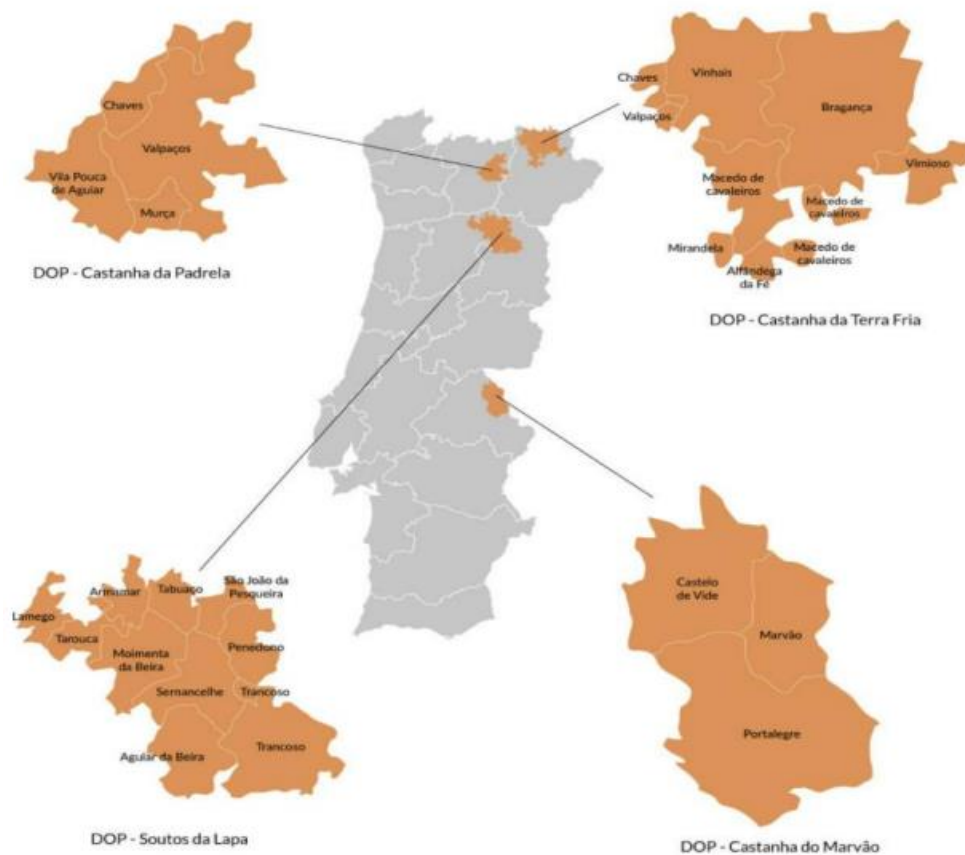


Figura 1. Localização das DOP's em Portugal (Costa, 2020).

Quanto ao valor nutricional, a castanha europeia possui uma composição interessante, sendo que os frutos possuem alta quantidade de água, podendo chegar em até 50% do seu peso. Além disso, são ricos em carboidratos, como açúcar e amido. Também podem ser considerados fontes de aminoácidos essenciais, fibras, macro e micronutrientes. Por último, possuem baixos teores de proteínas (2 a 4%) e de gorduras (1,5 a 5%) (Barreira et al., 2009).

2.4. FERTILIZAÇÃO DO CASTANHEIRO

Segundo Arrobas (2018), o castanheiro sempre foi uma cultura marginal e devido a isso, pouco fertilizada. Visto isso, a sua fertilização normalmente é dependente da disponibilidade de estrumes, os quais surgem através de explorações pecuárias na área. Além disso, normalmente, são usados cereais como cultura de cobertura nos soutos, e a matéria seca

que irá se originar, pode ser considerada fonte de matéria orgânica, a qual é fundamental para a fertilização da área (Serrano et al., 2001).

A partir do momento em que a fertilização do castanheiro é cogitada, deve-se levar em conta alguns conhecimentos preliminares como o nível de fertilidade do solo e a situação nutricional das árvores. Esses dados podem ser obtidos por meio de análises do solo e foliares. Na maioria das vezes, quando se trata de espécies arbustivas e arbóreas deve-se estabelecer uma estratégia de fertilização para a fase de instalação da cultura e outra para aplicar em toda a fase de produção (Rodrigues et al., 2018).

Um estudo de Rodrigues et al. (2019) com o intuito de fornecer informações sobre a fertilização em castanheiro no interior norte de Portugal, apresentou evidências de que o nitrogênio e o boro são os nutrientes mais importantes para essa cultura..

Ao se falar dos micronutrientes, o boro é considerado um elemento chave para o castanheiro. Azevedo (2014) avaliou a resposta do castanheiro à aplicação de fertilizantes ao solo e mostrou que o boro foi o nutriente que mais limitou o crescimento das árvores, tendo ocorrido uma redução da altura e do diâmetro do tronco. Sendo assim, ele concluiu que o boro deve ser incluído no plano de adubação desde o início da instalação dos pomares e devem ser feitas análises foliares para que esse elemento seja repostado quando necessário.

Quanto ao nitrogênio, ele segue a tendência das outras culturas, sendo também um elemento limitante para o castanheiro, o qual deve ser repostado sempre que necessário, pois conforme análises foliares feitas em um estudo de Arrobas et al. (2018), no geral, as folhas apresentaram baixas concentrações do nutriente.

O fósforo, é muito significativo na defesa da árvore contra a doença da tinta. O ideal é aplicá-las no inverno para ter efeito no ano seguinte. Ao se falar do potássio, ele é considerado um elemento vital ao castanheiro, pois estimula a circulação da seiva na planta (Laranjo & Raimundo, 2021).

Quanto ao boro, ele é fundamental para a polinização porque auxilia no crescimento do tubo polínico e também ajuda na proteção dos castanheiros jovens contra as geadas. Contudo, deve-se evitar usar boro em excesso, o recomendado é não ultrapassar 50 g em castanheiros jovens e 200 g em castanheiros adultos (Laranjo & Raimundo, 2021). A deficiência desse micronutriente irá causar irregularidades no crescimento, como ramos com

entrenós curtos e irá limitar o processo da floração, fecundação e vingamento dos frutos e consequentemente, os frutos tendem a abortar.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O ensaio a campo decorreu durante quatro anos, de 2018 a 2021, em uma aldeia do concelho de Vinhais, distrito de Bragança, na região do Alto Trás-os-Montes. O local encontra-se a uma altitude de 706 m, nas coordenadas 41° 49' 58'' N e 7° 0' 29'' W. O souto no qual o experimento foi realizado possui 50 anos e é da cultivar Judia.

O solo onde o experimento foi realizado é classificado como Leptosolo. No início do experimento foram colhidas amostras de solo com o objetivo de realizar uma caracterização inicial do local. A textura é franco-arenosa (11,8% de argila, 17,3% de silte e 70,9% de areia), o teor de carbono orgânico (Walkley-Black) baixo (13,4 g kg⁻¹), o pH (1:2,5, solo:água) ácido (5,3), o fósforo extraível (Egner-Riehm) médio (93 mg P₂O₅ kg⁻¹) e o potássio extraível (Egner-Riehm) muito alto (345 mg K₂O kg⁻¹).

O clima em Vinhais é considerado quente e temperado, o inverno possui mais chuvas do que o verão. Conforme Köppen e Geiger pode-se classificar o clima como Csb (IPMA, 2022), a temperatura média e a pluviosidade anual são 11.9 °C e 880 mm, respectivamente. Na Figura 2 são observados os registros meteorológicos durante o período em estudo.

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O ensaio foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado. Foram selecionadas 16 árvores, as quais foram sorteadas em quatro grupos, que correspondem aos tratamentos. As árvores selecionadas eram semelhantes em relação ao formato do dossel e cada uma delas correspondeu a uma unidade experimental.

Foram quatro tratamentos utilizados na realização desse estudo, sendo eles: adubo 7-14-14; YaraMila™ ACTYVA 20-7-10; YaraMila™ SÓLAN 13-11-21; e testemunha (que não recebeu fertilizante).

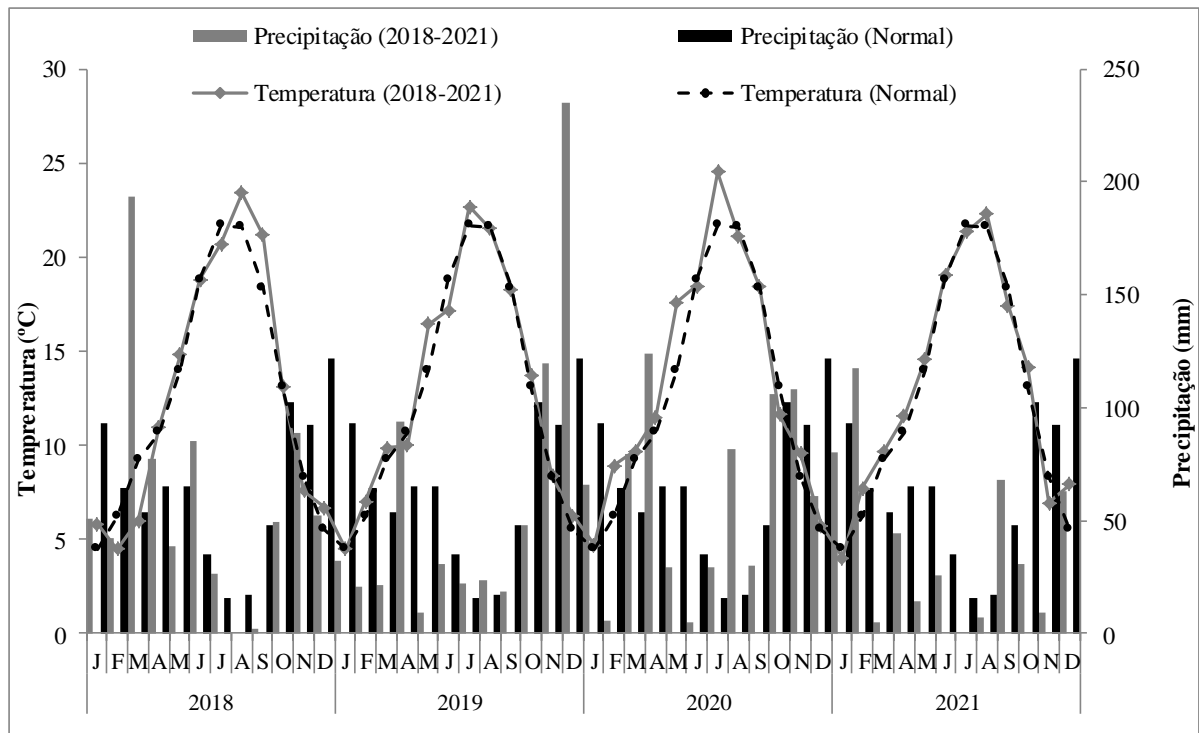


Figura 2. Valores da normal climatológica e registros meteorológicos durante o período experimental

O adubo 7-14-14 é um fertilizante composto NPK (7% N, 14% P_2O_5 14% K_2O), contendo outros minerais como enxofre (10% de SO_3), magnésio (2% de MgO) e boro (0,1% de B_2O_3). Vale ressaltar que 2,5% do N está presente na forma amoniacal e 4,5% na forma de ureia. Sua granulometria é entre 2 a 5 mm.

YaraMila™ ACTYVA 20-7-10 também é um fertilizante composto NPK (20% N, 7% P_2O_5 10% K_2O), sendo que dos 20% de N, 9,4% corresponde à forma nítrica e 10,6% à forma amoniacal. Este produto é fabricado com base no método de nitrofosforação e promete incorporar-se facilmente na solução do solo, pois absorve a umidade do ar, fazendo com que os nutrientes contidos no grânulo se incorporem ao solo. Outros minerais existentes em quantidades relevantes são magnésio (3% de MgO) e enxofre (10% de SO_3).

YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 é fabricado pelo método de nitrofosforação e assegura rápida incorporação ao solo. Ademais, possui um revestimento que faz com que o produto garanta excelente condição física até que seja incorporado ao solo, fazendo com que o mesmo não se aglomere. O fertilizante é composto por 5,3% de N nítrico, 7,7 % de N amoniacal, 11% de P_2O_5 , 21% de K_2O , 2% de MgO e 0,2% de boro.

3.3. MANUTENÇÃO DO EXPERIMENTO

Os fertilizantes foram aplicados anualmente debaixo da copa à razão de 4 kg de adubo por árvore e incorporados com escarificador. No souto foi efetuada uma segunda escarificação no fim de maio como forma de complementar o controle das ervas daninhas. Durante o período experimental, o souto não recebeu quaisquer outros tratamentos.

3.4. COLHEITA E PREPARO DAS AMOSTRAS

As folhas foram coletadas durante os quatro anos de experimento (2018-2021), mais precisamente no final do mês de julho de cada ano, levando em conta a metodologia de amostragem padrão para a análise elementar e monitoramento do estado nutricional das árvores, que significa em coletar as folhas ainda jovens com o limbo expandido e percorrendo todos os quadrantes da árvore (Arrobas et al., 2018). As castanhas foram colhidas durante o mês de novembro, manualmente em cada árvore, para análise elementar e da produtividade. Após a contagem e pesagem, separou-se a casca do miolo (Figura 3).



Figura 3. Separação da casca do miolo

Em seguida, as amostras foram levadas ao laboratório, onde foram submetidas à uma estufa de ventilação forçada regulada a 65 °C até peso constante (Figura 4). Posteriormente, foram moídas em moinho com malha de 1 mm (Figura 5).



Figura 4. Estufas onde as amostras foram depositadas



Figura 5. Equipamento utilizado para moer folhas, cascas e miolos.

3.5. ANÁLISES LABORATORIAIS DOS TECIDOS VEGETAIS

Neste tópico serão especificados os métodos analíticos executados para a determinação da composição elementar dos tecidos vegetais.

3.5.1. Determinação do nitrogênio

Foram pesadas 1 g de amostras de tecido vegetal e transferidas para tubos de digestão para equipamentos Kjeldahl, que foram colocados em um suporte de alumínio com capacidade para 20 frascos. Adicionaram-se duas pastilhas de um catalisador (selênio) e 15 ml de ácido sulfúrico concentrado (95-97%). Em seguida, as amostras foram aquecidas a 400 °C durante 40 minutos. Terminado o período de digestão, deixou-se arrefecer e colocou-se o tubo de digestão num equipamento automático Kjeltec TM 8400 Analyser unit FOSS (Figura 6), ao qual foi adicionada uma quantidade de hidróxido de sódio. A amônia formada é arrastada na corrente de vapor e titulada com ácido clorídrico num vaso com uma solução de ácido bórico e indicadores (Bremner, 1996).



Figura 6. Equipamento utilizado para a determinação de nitrogênio

3.5.2. Determinação do boro

Pesou-se 1 g das amostras, sendo transferidas para cadinhos onde se adicionou 0,10 g de óxido de cálcio (Figura 7) e se misturou até a amostra ficar homogênea. De seguida, os cadinhos foram 90 minutos para uma mufla onde se realizou a queima das amostras à temperatura de 500 °C. Após a queima adicionaram-se 10 ml de ácido sulfúrico 0,5 M e após 30 minutos filtraram-se as amostras. Posteriormente, transferiu-se 1 ml das amostras para tubos de 10 ml de polipropileno e foram adicionados 2,0 ml de azometina-H e 30 minutos depois do desenvolvimento de cor realizaram-se as leituras de absorbância das amostras em espectrofotômetro com comprimento de onda 420 nm (Walinga et al., 1989).



Figura 7. Amostras com 0,10 g de óxido de cálcio

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

Foram pesados 0,25 g das amostras sendo transferidas para tubos de digestão aos quais se adicionaram 10 ml de ácido nítrico. Os tubos foram fechados e levados para digestão em

micro-ondas MARSXpress. Após a digestão, o líquido foi transferido para um tubo 50 ml que se completou com água desionizada. Foram quantificados os teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês em espectrofotômetro de absorção atômica num equipamento PYE Unicam PU 9100X. Para a determinação do fósforo, após a diluição adicionou-se 4,0 ml da solução molibdato de amônio azul com ácido ascórbico. Após 35 minutos foram realizadas as leituras de absorbância em espectrofotômetro a um comprimento de onda 882 nm (Walinga et al., 1989).

3.5.4. Medição da intensidade da cor verde das folhas

A intensidade da cor verde das folhas foi determinada com um aparelho portátil SPAD (Soil and Plant Analysis Development) – 502. É um medidor portátil que estima o teor de clorofila nos tecidos foliares medindo a transmitância de luz através da folha nos comprimentos de onda de 650 nm (luz vermelha absorvida pela clorofila) a 940 nm (luz infravermelha sem absorção de clorofila). O medidor fornece um valor adimensional proporcional ao teor de clorofila da folha (Minolta Camera Co. Ltd., 2009).

3.6. ANÁLISES LABORATORIAIS DE SOLOS

A seguir descrevem-se brevemente os procedimentos analíticos efetuados para determinação das características químicas do solo.

3.6.1. Determinação do pH

Para a medição do pH em água preparou-se uma amostra com proporção entre solo e água de 1 para 1,25 (p/v) e agitou-se por 2 horas. Para a leitura foi utilizado um potenciômetro. Para a determinação do pH em uma solução de KCl 1M, utilizou-se a proporção entre solo e solução de 1 para 1,25 (p/v) e, após agitação ocasional no período de 2 horas, a leitura foi feita por potenciometria (Van Reeuwijk, 2002).

3.6.2. Determinação de capacidade de troca catiônica

Pesou-se 2,5 g de solo e foram adicionados 50 ml de uma solução de acetato de amônio tamponizada a pH 7. Após 30 minutos de contato e agitação, os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ foram determinados no extrato filtrado, por espectrofotometria de absorção atômica (Van Reeuwijk, 2002) no equipamento PYE Unicam PU 9100X.

3.6.3. Determinação da acidez de troca

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

3.6.4. Determinação de fósforo e potássio extraíveis

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

3.6.5. Determinação de micronutrientes

Os elementos foram extraídos com uma solução de acetato de amônio, ácido acético e ácido etileno diaminotetracético e medidos por espectrometria de absorção atômica (Lakanen & Ervio, 1971) no equipamento PYE Unicam PU 9100X.

3.6.6. Nitrogênio inorgânico no solo

O nitrogênio inorgânico do solo foi determinado em extratos de solo preparados a partir de 20 g de solo e 40 ml de KCl 2M. A suspensão foi agitada por 1 h e filtrada em papel de filtro Watmann # 42. As concentrações de nitrato e amônio nos extratos foram analisadas em espectrofotômetro UV-Vis.

3.7. ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram submetidos à análise de homogeneidade de variância e de normalidade. Atendidos a estes pressupostos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA $p < 0,05$). Quando se registaram diferenças significativas entre tratamentos, aplicou-se o teste de comparação múltipla de médias Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

4. RESULTADOS

Este capítulo apresentará os resultados referentes às amostras coletadas durante o experimento, em seguida, os dados serão analisados e comparados para que no tópico seguinte seja possível discuti-los. As informações presentes nesta seção são: produção de fruto; concentração de nutrientes nas folhas; valores SPAD; propriedades do solo.

4.1. CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NAS FOLHAS

4.1.1. Concentração de nitrogênio nas folhas

Na Figura 8 exibe-se a concentração de nitrogênio nas folhas em relação aos tratamentos fertilizantes que foram aplicados durante os anos de estudo. Percebe-se que os resultados do fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20:07:10 estão presentes na parte alta da figura, verificando-se que apresentou as maiores concentrações médias de nitrogênio em 2019, 2020 e 2021, respectivamente 24,8, 24,5 e 22,9 g kg⁻¹. Entende-se que isso ocorreu devido ao fato desse fertilizante ser mais concentrado em nitrogênio comparado aos restantes. No ano de 2018, os valores foram mais baixos que os do fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13:11:21, o qual mostrou uma média de 21,3 g kg⁻¹ contra 20,9 g kg⁻¹ do YaraMila™ ACTYVA 20:07:10. Por outro lado, o YaraMila™ SÓLAN 13:11:21 apresentou médias similares aos demais tratamentos nos anos seguintes, que foram 22,4, 23,0 e 22,6 g kg⁻¹, respectivamente em 2019, 2020 e 2021. Ao se falar do adubo 7:14:14, pelo fato de ser o tratamento com menor concentração de nitrogênio, mostrou as menores médias entre os fertilizantes, em 2018 foi de 19,9 g kg⁻¹ e em 2019 de 22,4 g kg⁻¹, resultados equivalentes ao da modalidade testemunha. Já em 2020, apresentou a mesma média que o YaraMila™ SÓLAN 13:11:21 e em 2021 uma média similar aos demais, de 22,4 g kg⁻¹. Quanto à modalidade testemunha, tanto em 2018, quanto em 2021, ficou abaixo do limite inferior do intervalo de suficiência, com 19,1 e 18,9 g kg⁻¹, respectivamente. Vale ressaltar que justamente pelo fato de no último ano a modalidade testemunha ter apresentado uma média mais baixa comparada aos outros tratamentos, fez com que as concentrações de nitrogênio foliar variassem significativamente.

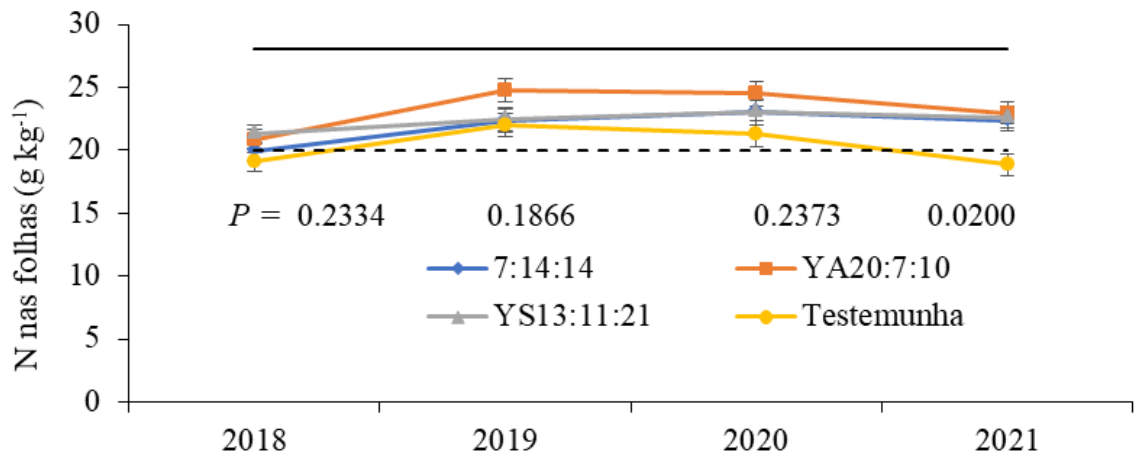


Figura 8. Concentração de nitrogênio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha sólida corresponde ao limite superior do intervalo de suficiência, enquanto a linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.1.2. Concentração de fósforo nas folhas

Observa-se na Figura 9 que a testemunha, não fertilizada, registrou as maiores concentrações de fósforo nas folhas em todos os anos, sendo os valores 1,89 1,82, 1,94 e 1,51 g kg⁻¹. No que se diz respeito aos tratamentos fertilizados, foi o adubo 7:14:14 que apresentou maiores médias (1,81, 1,70, 1,78 e 1,47 g kg⁻¹). Contudo, a menor média em 2018 foi de 1,72 g kg⁻¹ de YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 e nos anos de 2019, 2020 e 2021 foi de 1,50, 1,58 e 1,39 g kg⁻¹, respectivamente de YaraMila™ SÓLAN 13-11-21. Então, nota-se que os valores das médias dos fertilizantes foram similares, portanto, não houve diferença significativa e pode-se constatar na figura que os valores permaneceram acima do limite inferior de suficiência.

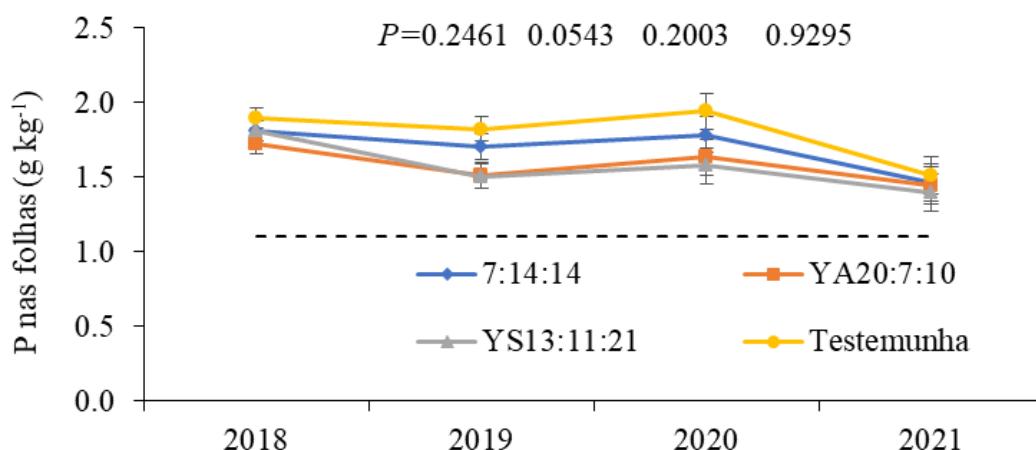


Figura 9. Concentração de fósforo nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.1.3. Concentração de potássio nas folhas

As concentrações de potássio nas folhas em função dos tratamentos apresentam-se na Figura 10. Nota-se que os valores ficaram acima do limite inferior da faixa de suficiência e observaram-se diferenças significativas entre tratamentos no último ano do estudo. Em 2018, foi a testemunha que apresentou maior média, que foi de $10,26 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto a menor foi de $7,98 \text{ g kg}^{-1}$ do adubo 7:14:14. Já em 2019 e 2021 o tratamento que apresentou as médias mais elevadas foi YaraMila™ SÓLAN 13-11-21, com $9,80$ e $8,90 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. É de referir que esse é o fertilizante que possui maior concentração de potássio. No ano de 2020, foi YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 que originou a maior média, $9,80 \text{ g kg}^{-1}$, ao contrário da testemunha, que originou a menor $7,26 \text{ g kg}^{-1}$.

4.1.4. Concentração de cálcio nas folhas

Os tratamentos não variaram significativamente em relação à concentração foliar de cálcio. Observa-se na Figura 11 que todos os valores se aproximam do limite inferior da faixa de suficiência. Além disso, foi o adubo 7:14:14 que apresentou as maiores médias em todos os anos do estudo, correspondendo a $2,88$, $2,50$, $2,63$ e $2,53 \text{ g kg}^{-1}$. O fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 registrou menor média em 2018, 2020 e 2021 que foi $2,69$, $2,22$ e $2,24 \text{ g kg}^{-1}$, nesta ordem. Em 2019, foi a testemunha que apresentou menores resultados, com uma

média de 2,33 g kg⁻¹. YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 registrou os valores 2,82, 2,44, 2,45 e 2,37 g kg⁻¹, considerados intermediários em relação aos demais.

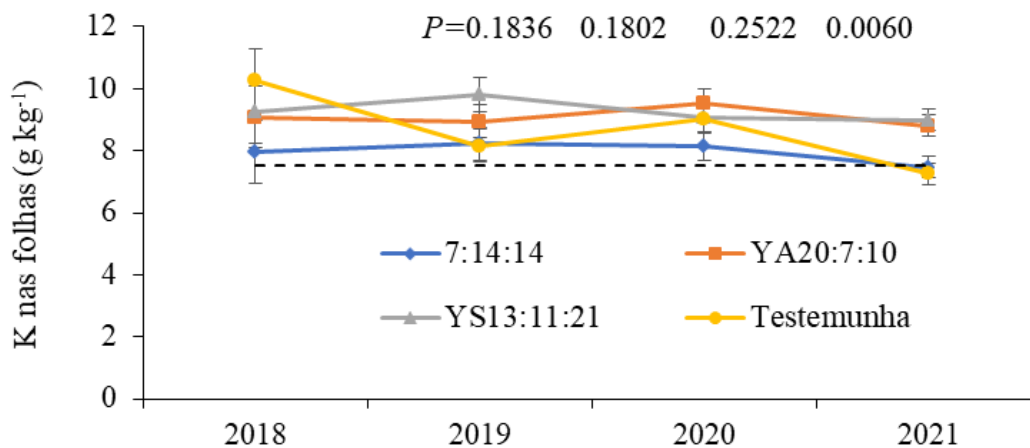


Figura 10. Concentração de potássio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

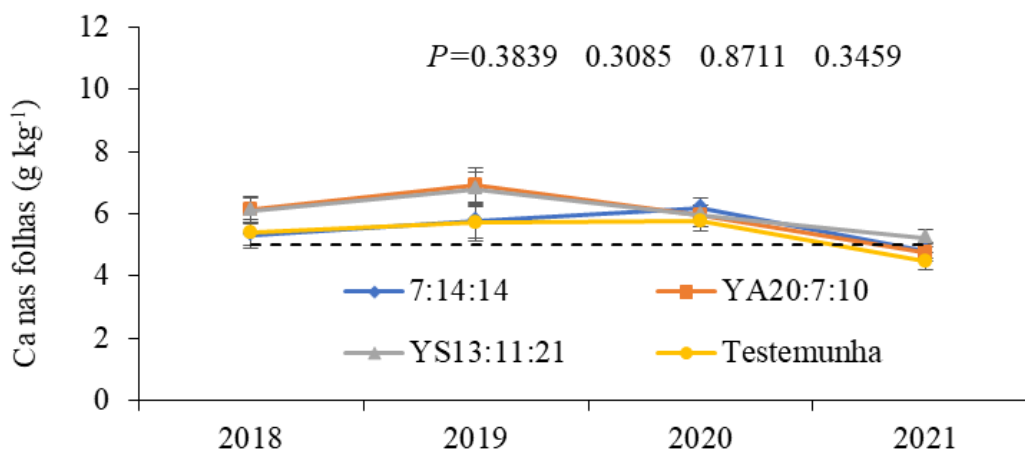


Figura 11. Concentração de cálcio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.1.5. Concentração de magnésio nas folhas

A concentração de magnésio em função dos tratamentos está exposta na Figura 12. Os tratamentos não influenciaram significativamente nessa variável e os valores estavam todos

acima do limite inferior da faixa de suficiência, ou seja, dentro do intervalo de concentrações adequadas. É válido frisar que em 2018 as médias variaram de 2,69 a 2,87 g kg⁻¹, em 2019 de 2,33 a 2,50 g kg⁻¹, em 2020 de 2,22 a 2,63 g kg⁻¹ e em 2021 de 2,24 a 2,53 g kg⁻¹. Foi o adubo 7:14:14 que apresentou as maiores médias em todos os anos do experimento. Isto reflete no fato desse tratamento ser um adubo composto NPK com cerca de 2% de óxido de magnésio. Foi o fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 que deu origem às menores médias em 2018, 2020 e 2021, enquanto em 2019 foi a testemunha.

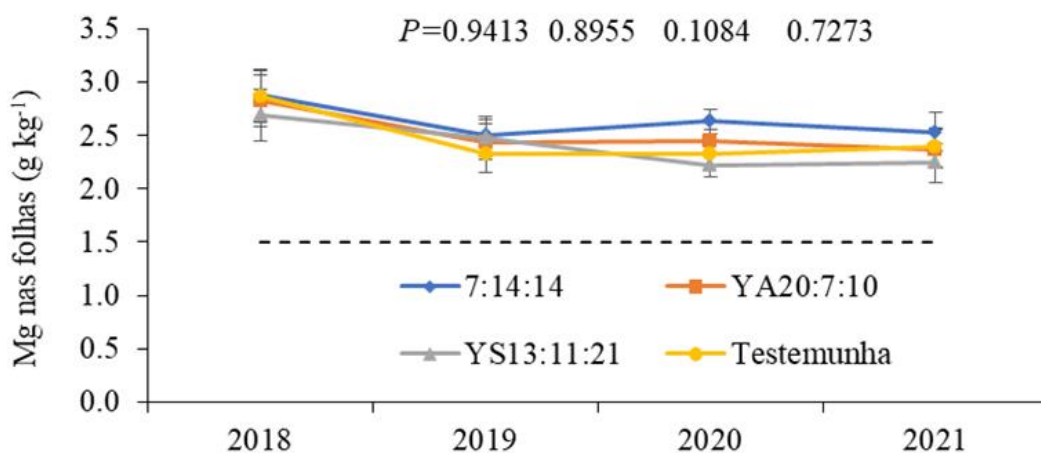


Figura 12. Concentração de magnésio nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha a tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.1.6. Concentração de boro nas folhas

Na Figura 13 está ilustrada a concentração de boro nas folhas em função dos fertilizantes nos quatro anos de experimento. Pode-se dizer que houve diferença significativa nos três últimos anos de estudo, e que em todos os tratamentos os valores permaneceram superiores ao limite inferior da faixa de suficiência. Contudo, é notório que as médias do fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 (28,0, 33,7, 53,8 e 37,3 g kg⁻¹) são maiores em relação aos demais. Isso deve-se ao fato de que este fertilizante possui uma quantidade considerável de boro. O controle foi o responsável pela menor média em 2018, que foi de 23,35 g kg⁻¹. Já nos três últimos anos, foi o adubo 7:14:14 que deu origem aos valores mais baixos.

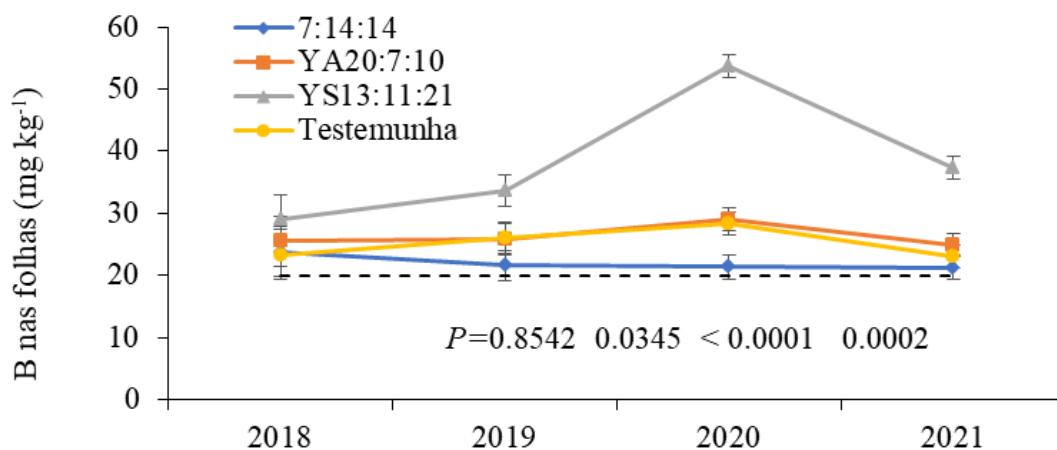


Figura 13. Concentração de boro nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.1.7. Concentração de ferro nas folhas

Ao se falar da concentração de ferro nas folhas, houve diferença significativa no ano de 2020, ano em que as médias variaram de 108,0 g kg⁻¹ (YaraMila™ SÓLAN 13-11-21) até 130,8 g kg⁻¹ (7:14:14). Em 2018 e 2021 os valores mais elevados também foram registrados com o adubo 7:14:14, sendo 85,3 e 76,0 g kg⁻¹. Já em 2019, YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 apresentou uma média de 87,9 g kg⁻¹, que foi a mais alta entre todos os tratamentos. Todos os tratamentos fertilizantes e a testemunha ficaram visivelmente acima do limite inferior do intervalo de suficiência (Figura 14).

4.1.8. Concentração de manganês nas folhas

A Figura 15 mostra os teores médios de manganês em relação aos tratamentos fertilizantes durante os anos do experimento. Tanto em 2020, quanto em 2021, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que em 2020 as médias variaram de 1321,9 a 1925,5 g kg⁻¹ e no último ano de 799,5 a 1525,7 g kg⁻¹. Nos dois anos aludidos, as maiores médias ficaram com o adubo 7:14:14. Em 2018, a maior média foi de 1918,4 g kg⁻¹ do fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 e em 2019, 1673,0 de YaraMila™ ACTYVA 20-

07-10. Observa-se que os resultados estão acima do limite inferior do intervalo de suficiência, contudo, estão próximos do limite superior, o que significa um potencial de toxicidade.

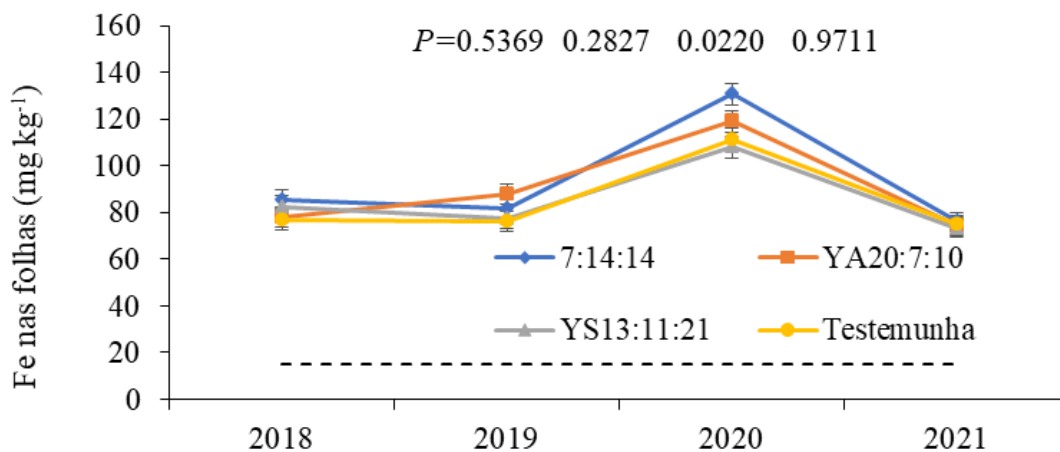


Figura 14. Concentração de ferro nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

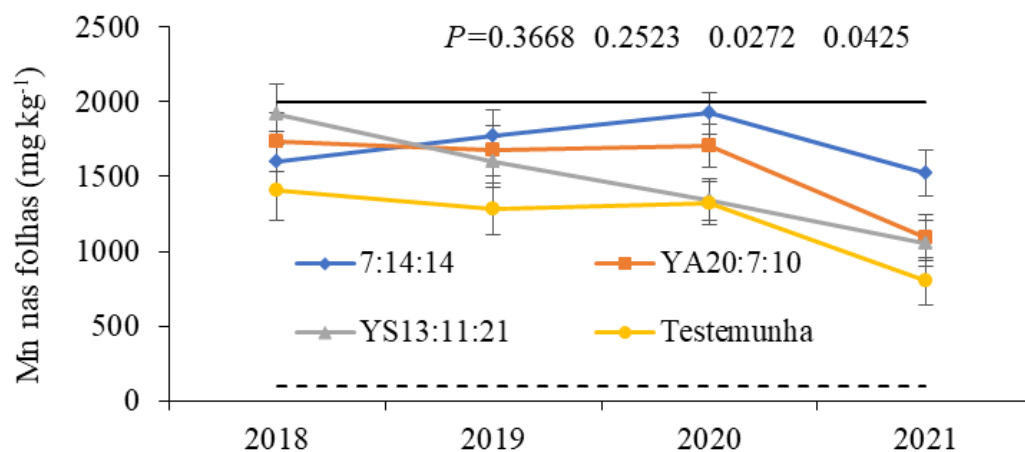


Figura 15. Concentração de manganês nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha sólida corresponde ao limite superior do intervalo de suficiência, enquanto a linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.1.9. Concentração de zinco nas folhas

A concentração de zinco nas folhas não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 16). Foi o fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 que obteve as maiores médias no três primeiros anos, que foram de 31,0, 28,4 e 26,9 g kg⁻¹. Observa-se na figura 16 que no último ano, a concentração de zinco decaiu em todos os tratamentos, e quem registrou as médias mais elevadas foi a testemunha com 21,0 g kg⁻¹. As concentrações foliares deste nutriente estiveram acima do limite inferior de suficiência.

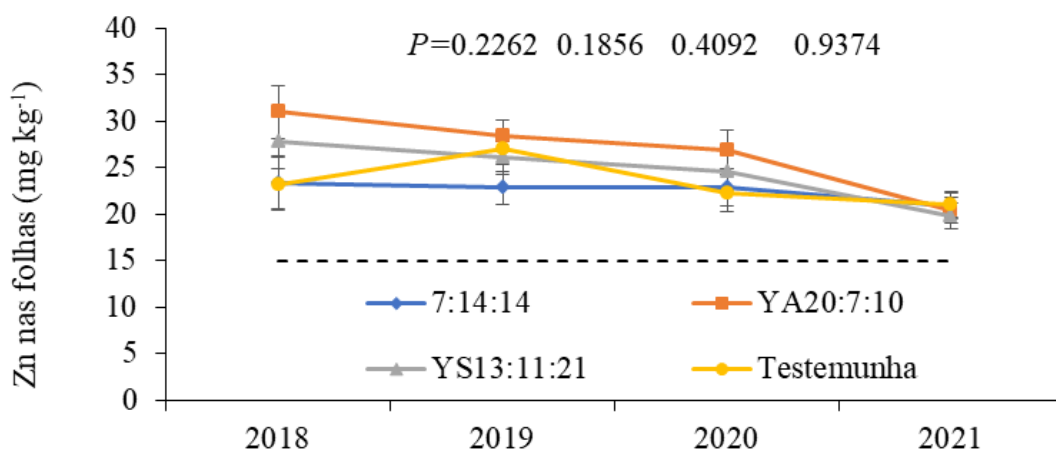


Figura 16. Concentração de zinco nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha a tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.1.10. Concentração de cobre nas folhas

Na Figura 17 apresentam-se as concentrações foliares de cobre em função dos fertilizantes aplicados durante os quatro anos de estudo. Houve diferença significativa entre os tratamentos em 2020, ano em que as médias variaram de 3,88 a 4,53 g kg⁻¹, considerando que a maior foi do adubo 7:14:14 e a menor do YaraMila™ SÓLAN 13-11-21. Além disso, observa-se que 2018 foi o ano em que registrou-se maior concentração de cobre em todos os tratamentos, com uma média que variou de 7,27 a 8,30 g kg⁻¹. Após isso, tanto em 2019, quanto em 2020 ocorreu uma queda na concentração, momento em que os tratamentos estiveram próximos ao limite inferior de suficiência, sugerindo uma possível deficiência.

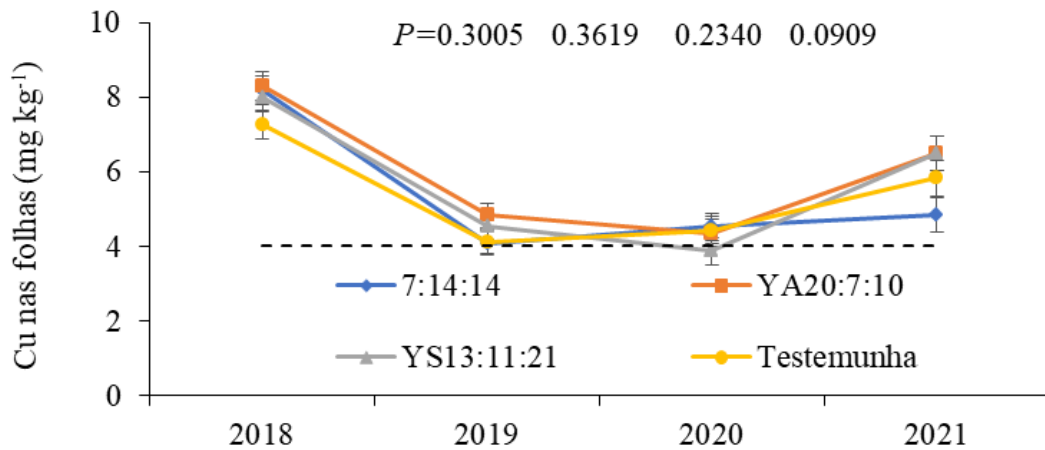


Figura 17. Concentração de cobre nas folhas em relação ao ano de amostragem e aos tratamentos. A linha tracejada corresponde ao limite inferior do intervalo de suficiência. As barras verticais são o erro padrão das médias.

4.2. AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DA COR VERDE DAS FOLHAS

Na Tabela 2 estão expostos os valores das leituras nas folhas dos castanheiros, que foram medidos através do aparelho SPAD. Vale lembrar, que o objetivo da análise da intensidade da cor verde das folhas é para obter uma estimativa adimensional do teor de clorofila.

Em 2019 e 2020 não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que no primeiro ano a média variou de 43,9 a 46,3, enquanto no segundo ano, a média teve uma variação de 43,4 a 45,6. É importante salientar que foi o tratamento testemunha que obteve os menores resultados em todos os anos. Em 2021, foram observadas diferenças significativas no tratamento YaraMila™ ACTYVA 20-07-10, com um resultado de 47,5, em relação ao tratamento, que obteve um resultado de 44,2 (Tabela 2).

Tabela 2. Valores SPAD nas folhas do castanheiro em função dos tratamentos fertilizantes

Tratamento	2019	2020	2021
7:14:14	44.4 a	43.6 a	44.8 ab
YA20:7:10	45.4 a	45.6 a	47.5 a
YS13:11:21	46.3 a	45.2 a	45.9 ab
Testemunha	43.9 a	43.4 a	44.2 b
Probabilidade > F	0.0762	0.1837	0.0432
Erro padrão	0.63	0.82	0.77

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0.05$).

4.3. PROPRIEDADES DO SOLO

4.3.1. Carbono orgânico, pH, fósforo e potássio extraíveis (Egner-Riehm)

Na Tabela 3 é possível observar os teores médios de carbono orgânico, pH, fósforo e potássio extraíveis em relação aos tratamentos. Não houve diferença significativa no que diz respeito ao carbono orgânico, visto que a maior média foi do adubo 7:14:14 (13,8 g kg⁻¹) e a menor foi da testemunha (12,5 g kg⁻¹). Ao se falar do pH, seja o determinado em água, como em KCl, ambos variaram significativamente e pode-se observar que os três fertilizantes acidificaram o solo em comparação com a testemunha, visto que as médias variaram de 5,41 a 4,89 para o pH em água e 4,33 a 4,02 para o pH em KCl. Os teores de fósforo extraíveis também apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos fertilizantes. O maior valor foi do adubo 7:14:14, com uma média de 142,6 mg P₂O₅ kg⁻¹, que diferiu das duas menores médias, do fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 (95,0 mg P₂O₅ kg⁻¹) e da testemunha (81,3 mg P₂O₅ kg⁻¹). É possível analisar que os valores de potássio extraíveis também diferiram significativamente, a maior média foi do fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 (519,0 mg K₂O kg⁻¹), que diferiu de YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 (327,8 mg K₂O kg⁻¹) e do controle (303,8 mg K₂O kg⁻¹). Destaca-se que tanto para o fósforo extraível,

quanto para o potássio extraível, foram os fertilizantes com maior concentração desses respectivos nutrientes que obtiverem as maiores médias.

Tabela 3. Carbono (C) orgânico, pH e fósforo (P) e potássio (K) extraíveis (Egner-Riehm) em função dos tratamentos fertilizantes.

Tratamento	C orgânico		P extraível		K extraível
	g kg ⁻¹	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹	mg K ₂ O kg ⁻¹
7:14:14	13.8 a	5.08 bc	4.11 b	142.6 a	414.0 ab
YA20:7:10	13.4 a	4.89 c	4.02 b	95.0 b	327.8 b
YS13:11:21	13.5 a	5.11 bc	4.13 b	121.1 ab	519.0 a
Testemunha	12.5 a	5.41 a	4.33 a	81.3 b	303.8 b
Prob > F	0.6947	<0.0001	0.0017	0.0064	0.0006
Erro padrão	0.79	0.048	0.043	10.5	28.1

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0.05$).

4.3.2. Bases de troca, acidez de troca e capacidade de troca catiônica

Na Tabela 4 são apresentados os teores no solo dos cátions de troca, acidez de troca e a capacidade de troca catiônica. Cálcio e magnésio não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, sendo que o primeiro teve uma variação de valores de 2,36 a 3,43 cmol₊ kg⁻¹ e o segundo de 0,78 a 1,16 cmol₊ kg⁻¹. A CTC também não registou diferença significativa entre os tratamentos e suas médias foram de 5,95 a 6,73 cmol₊ kg⁻¹. Ao se falar do potássio de troca houve diferença significativa da testemunha (0,80 cmol₊ kg⁻¹) e do fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 (0,81 cmol₊ kg⁻¹) em relação ao YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 que atingiu uma média de 1,37 cmol₊ kg⁻¹. Tanto o adubo 7:14:14, quanto YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 apresentaram uma média de 0,44 cmol₊ kg⁻¹ em relação aos valores do sódio, diferindo significativamente de YaraMila™ ACTYVA 20-07-10, que teve um média de 0,07 cmol₊ kg⁻¹ e da testemunha, a qual teve uma média de 0,16 cmol₊ kg⁻¹. Para os valores da acidez de troca, observam-se diferenças significativas com as duas médias mais altas (YaraMila™ ACTYVA 20-07-10 e YaraMila™ SÓLAN 13-11-21) que foram de

1,15 e 1,17 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$, respectivamente em relação a média mais baixa, que foi 0,70 $\text{cmol}_+ \text{kg}^{-1}$ da testemunha.

Tabela 4. Bases de troca, acidez de troca (AT) e capacidade de troca catiônica (CTC) em função dos tratamentos fertilizantes.

Tratamento	Complexo de troca				AT	CTC
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺		
	cmol ₊ kg ⁻¹					
7:14:14	3.43 a	1.00 a	1.08 ab	0.44 a	0.85 ab	6.73 a
YA20:7:10	2.88 a	1.02 a	0.81 b	0.07 b	1.15 a	5.95 a
YS13:11:21	2.36 a	0.78 a	1.37 a	0.44 a	1.17 a	6.00 a
Testemunha	3.25 a	1.16 a	0.80 b	0.16 b	0.70 b	6.34 a
Prob > F	0.3233	0.2371	0.0017	0.0002	0.0073	0.7907
SE	0.42	0.12	0.09	0.05	0.09	0.61

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0.05$).

4.3.3. Concentração de micronutrientes no solo

Houve variação significativa na concentração de boro do tratamento YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 acerca dos demais tratamentos, sendo que as médias variaram de 0,32 a 1,28 mg kg^{-1} . O restante não diferiu significativamente (Tabela 5).

Na Tabela 5, observa-se que ferro, zinco e cobre não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. O primeiro apresentou valores que variaram de 59,2 a 65,2 mg kg^{-1} . Os valores de zinco registraram médias de 2,2 a 2,8 mg kg^{-1} , e os de cobre de 1,8 a 2,0 mg kg^{-1} .

Sobre o manganês, registrou-se diferença significativa entre dois tratamentos, o adubo 7:14:14, com uma média de 152,5 mg kg^{-1} , e a testemunha, que apresentou uma média de 127,8 mg kg^{-1} (Tabela 5).

Tabela 5. Boro, ferro, zinco, cobre e manganês no solo em função dos tratamentos fertilizantes.

Tratamento	Boro	Ferro	Zinco	Cobre	Manganês
			mg kg ⁻¹		
7:14:14	0.35 b	65.2 a	2.7 a	2.0 a	152.5 a
YA20:7:10	0.43 b	72.6 a	2.3 a	1.9 a	136.2 ab
YS13:11:21	1.28 a	59.2 a	2.8 a	1.8 a	149.1 ab
Testemunha	0.32 b	60.5 a	2.2 a	2.6 a	127.8 b
Prob > F	<0.0001	0.2244	0.0852	0.0654	0.0240
Erro padrão	0.102	4.67	0.17	0.17	5.40

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0.05$).

4.4.4. Amônio extraído a quente e a frio, amônio hidrolisável e nitrato extraído a frio

A Tabela 6 registra os valores de NH_4^+ extraídos a quente e a frio, os quais não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. O primeiro apresentou valores de 65,4 a 108,1 mg kg⁻¹, enquanto o segundo, as médias variaram de 51,7 a 92,20 mg kg⁻¹. É importante salientar que ambos obtiveram os valores mais elevados com o fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20-07-10.

Na Tabela 6, pode-se observar os valores de NH_4^+ hidrolisável, o qual representa a diferença entre os valores extraídos a quente e a frio. Neste caso, houve diferença significativa entre o fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20-07-10, com uma média de 15,9 mg kg⁻¹, e os demais tratamentos.

Ademais, houve diferença significativa entre tratamentos no nitrato extraído com cloreto de potássio a frio. O adubo 7:14:14 e a testemunha apresentaram as médias mais baixas, com 59,0 e 44,9 mg kg⁻¹, respectivamente, e variaram do fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20-07-10, que registrou uma média de 100,5 mg kg⁻¹. O fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 apresentou uma média de 78,0 mg kg⁻¹ (Tabela 6).

Tabela 6. Íon amônio (NH_4^+) no solo extraído com cloreto de potássio a quente (Q) e a frio (F) e NH_4^+ hidrolisável (Hid) (NH_4^+ Q – NH_4^+ F) e nitrato extraído com cloreto de potássio a frio.

	NH_4^+ Q	NH_4^+ F	NH_4^+ Hid	NO_3^- F
Tratamento	----- mg kg ⁻¹ ----- ----			
7:14:14	82.1 a	69.0 a	13.1 b	59.0 b
YA20:7:10	108.1 a	92.20 a	15.9 a	100.5 a
YS13:11:21	72.3 a	58.1 a	14.2 b	78.0 ab
Testemunha	65.4 a	51.7 a	13.6 b	44.9 b
Prob > F	0.4803	0.5649	0.9213	0.0038
Erro padrão	19.99	21.12	2.99	8.65

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste Tukey HSD ($\alpha=0.05$).

4.4. PRODUTIVIDADE

Na Figura 18 apresenta-se a produção de castanha nos três anos em que foi possível colher os frutos. Observa-se que a produtividade não variou significativamente. Em 2018 e 2020, foi o fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 que obteve as maiores médias, 32,5 e 26,8 kg árvore⁻¹, respectivamente, já em 2019, foi o adubo 7:14:14 que apresentou a maior média, que foi de 38,3 kg árvore⁻¹. No tratamento YaraMila™ SÓLAN 13-11-21, registrou-se uma produtividade média acumulada de castanha de 94,9 kg árvore⁻¹, enquanto no tratamento testemunha o valor foi de 80,0 kg árvore⁻¹.

É importante observar que os valores de probabilidade diminuíram com o passar dos anos (Figura 18). Entende-se que quanto menor for a probabilidade, mais próximo as médias estão de uma diferença significativa entre os tratamentos.

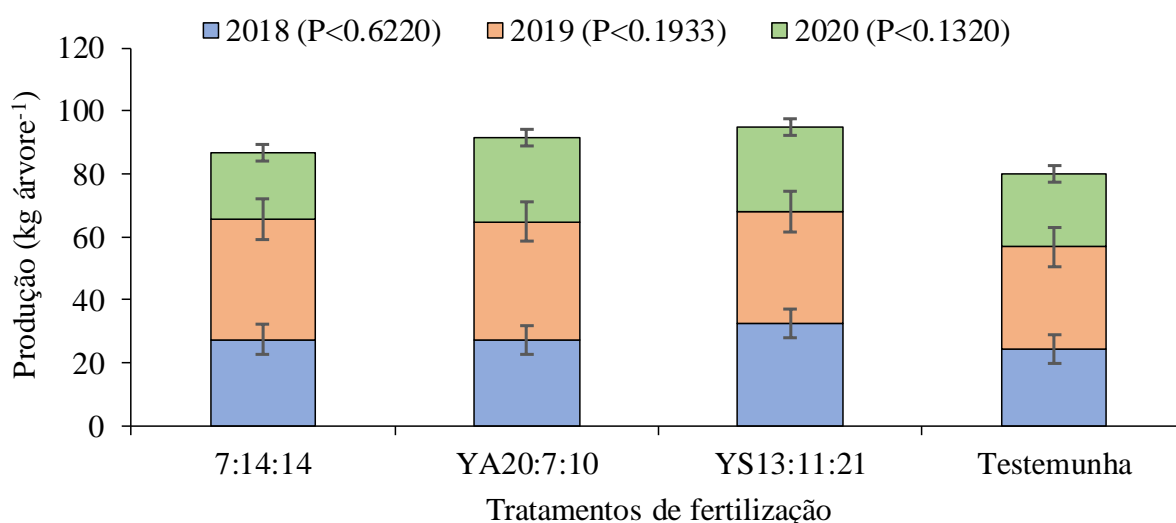


Figura 18. Produtividade da castanha em função do ano de amostragem e dos tratamentos com fertilizante

5. DISCUSSÃO

Ao se falar do nitrogênio, a testemunha deu origem às menores médias em todos os anos de estudo, enquanto os tratamentos fertilizados apresentaram concentrações foliares ligeiramente mais elevadas, mas diferenças significativas só ocorreram no último ano do estudo. Contudo, os valores não estiveram muito acima do limite inferior do intervalo de suficiência. Estes resultados corroboram com os de Arrobias et al. (2018) que constataram que o nitrogênio é um dos elementos mais limitantes em castanheiro. Contudo, a partir do momento em que ocorre a adubação nitrogenada, espera-se que tenha um aumento desse nutriente, que foi o que aconteceu nos anos de 2019, 2020 e 2021, quando as maiores médias foram representadas pelo fertilizante com maior concentração de nitrogênio, YaraMila™ ACTYVA 20-07-10. Em 2018, foi YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 que obteve a melhor média, que é o segundo fertilizante com maiores concentrações de nitrogênio, ainda, é válido ressaltar que as médias desses dois fertilizantes foram próximas.

Quanto ao fósforo, as concentrações dos fertilizantes variaram de 7 a 14%, porém foi a testemunha não fertilizada que obteve as maiores médias no que se diz respeito às concentrações foliares desse nutriente, mostrando que o fósforo não possui tamanha importância quando se fala de fertilização em castanheiro. Isso ocorre pelo fato desse nutriente se realojar em parte perenes, como raízes e troncos (Rodrigues et al., 2020).

As concentrações foliares de potássio foram variadas nos anos do estudo, fazendo com que fosse difícil uma análise clara desse nutriente. Entretanto, observou-se que nos últimos três anos, a aplicação de potássio foi eficaz, fazendo com que os fertilizantes se destacassem em relação a testemunha. Conforme estudos de Arrobas et al. (2018), o limite inferior do intervalo de suficiência é de $7,5 \text{ g kg}^{-1}$ de potássio no tecido foliar. Visto isso, nesse estudo a maioria dos valores estiveram acima, concluindo-se que a adubação teve um efeito positivo na concentração foliar do nutriente.

Os valores de cálcio foram maiores com o adubo 07:14:14 em todos os anos do experimento. Em 2021 os valores se aproximaram do limite inferior do intervalo de suficiência, sugerindo uma possível deficiência desse nutriente. Segundo Arrobas et al. (2018), para folhas de castanheiro, os valores normais em relação à concentração de cálcio são de 5 a 15 g kg^{-1} . Contudo, em um estudo de Rodrigues et al. (2020) conclui-se que o castanheiro se desenvolve bem em solos ácidos, o que facilita o desenvolvimento da espécie com baixos teores de cálcio. Essa afirmação justifica os baixos teores analisados e o bom desenvolvimento da planta.

Ao se falar do magnésio, pelo fato do adubo 07:14:14 apresentar uma certa quantidade desse nutriente, foi ele que liderou as médias de 2018 a 2021. Além disso, todos os valores se mostraram dentro da faixa de suficiência referida por Arrobas et al. (2018), a qual é de 1,3 a $6,0 \text{ g kg}^{-1}$.

O boro destaca-se no tratamento YaraMila™ SÓLAN 13-11-21. Isso ocorre devido ao fato desse fertilizante possuir um conteúdo considerável de boro. Nos três últimos anos, esse fertilizante originou valores médios de boro muito elevados e que diferiram dos demais tratamentos. Vale ressaltar a importância desse micronutriente, pois em estudos de Azevedo (2014), relatou-se que a falta do boro prejudicou o desempenho das árvores em relação à altura das plantas e diâmetro do tronco. Por outro lado, deve-se levar em consideração a possível toxicidade com esse micronutriente, principalmente em pomares jovens (Arrobas et al., 2018).

Os teores de manganês foram significativamente diferentes entre tratamentos em dois anos (2020 e 2021). Em ambos os anos foi o adubo 7:14:14 que originou as maiores médias. Salienta-se que os teores desse nutriente estiveram próximos do limite superior da faixa de suficiência. Contudo, não o ultrapassaram, mas caso isso tivesse acontecido, seria importante se atentar aos sinais de toxicidade desse elemento.

Quanto ao cobre, os teores foliares desse micronutriente apresentaram diferença significativa em 2020 devido a média baixa do fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21. Ademais, deve-se observar que em 2019 e 2020 os teores estão próximos ao limite inferior de suficiência.

Os valores SPAD diferiram significativamente apenas em 2021, entre a testemunha e o fertilizante YaraMila™ ACTYVA 20-07-10. Além disso, em todos os anos as menores médias foram observadas na testemunha, sem fertilizante, enquanto os maiores resultados foram com YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 e YaraMila™ ACTYVA 20-07-10. Esses valores coincidem com os resultados da concentração de nitrogênio nas folhas.

Quanto a presença de micronutrientes no solo, destaca-se o fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 em relação ao boro, pois esse tratamento se diferiu dos demais. Pode-se justificar esse fato pelo motivo de que esse fertilizante possui maior concentração desse nutriente (2%).

A produtividade média de castanha foi menor na testemunha em comparação aos tratamentos com fertilizantes. Contudo, pelo fato do castanheiro ser uma espécie de porte grande, os fertilizantes aplicados no solo tendem não serem tão eficazes. Sendo assim, atenta-se a importância de uma possível fertilização foliar.

6. CONCLUSÕES

O adubo 7:14:14 apresentou resultados positivos em relação a concentração foliar de magnésio em todos os anos do estudo. No que se diz respeito à concentração foliar de micronutrientes, este tratamento mostrou as maiores médias com o ferro e o manganês, em três anos do experimento. Quanto ao último nutriente aludido, os valores elevados podem ser preocupantes, pois este elemento quando presente em altas concentrações pode ser tóxico as plantas. Fora isso, as médias desse tratamento para a concentração foliar de boro se apresentaram baixas.

O fertilizante YaraMila™ SÓLAN 20-07-10 mostrou-se eficaz ao se falar da concentração foliar de nitrogênio e conseqüentemente dos valores SPAD, como já foi citado anteriormente, isso ocorreu devido ao fato desse fertilizante possuir maiores concentrações de

nitrogênio. Ademais, este tratamento também apresentou as maiores médias na concentração foliar de zinco e cobre.

YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 obteve médias elevadas no que se diz respeito ao valor da concentração foliar de boro, principalmente nos dois últimos anos do estudo. Pelo fato desse fertilizante possuir alta concentração de potássio, o esperado seria que suas médias fossem maiores na concentração foliar desse macronutriente em todos os anos do experimento, porém isso aconteceu apenas em 2019 e 2021. Fora isso, esse fertilizante apresentou as menores médias para a concentração foliar de magnésio.

Quanto a testemunha, mostrou-se com as maiores médias em relação a concentração de fósforo nas folhas, o que não era esperado. Ao se falar da concentração foliar de nitrogênio, cálcio e manganês, a testemunha apresentou as menores médias em relação aos demais tratamentos. Além disso, pelo menos em um dos anos do experimento, a testemunha registrou o menor valor. A produtividade do castanheiro mostrou uma tendência de redução na testemunha em relação aos fertilizantes com o passar dos anos.

Sendo assim, conclui-se que os nutrientes que tiveram maior impacto sobre o castanheiro foi o nitrogênio e o boro. Houve diferença significativa em 2021 para o primeiro nutriente, lembrando que foi o fertilizante YaraMila™ SÓLAN 20-07-10 que obteve as maiores médias. Para o boro, em 2019, 2020 e 2021 houve diferença significativa para a concentração desse micronutriente nas folhas e foi o fertilizante YaraMila™ SÓLAN 13-11-21 que apresentou as maiores médias.

Contudo, os fertilizantes não aumentaram de forma significativa a produção e castanha. Isso provavelmente se deveu ao fato do efeito tampão das partes perenes, justamente por serem árvores gigantes. Diante disso, recomenda-se aos agricultores planos de adubação mais abrangentes, que envolva análises recorrentes de solo e das folhas, para que a tomada de decisão da adubação seja feita corretamente.

REFERÊNCIAS

- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. *World Agriculture*.
- Arnon D. and Stout R. (1939). The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, 14,2, 371–375.
- Arrobas, M. (2010). Fertilização. *Manual de Boas Práticas Em Espaços Verdes*, 87–91.
- Arrobas, M., Afonso, S., & Ferreira, I. Q. (2017). *Liming and application of nitrogen , phosphorus , potassium , and boron on a young plantation of chestnut*. 441–451. <https://doi.org/10.3906/tar-1705-79>
- Arrobas, M., Afonso, S., & Rodrigues, M. Â. (2018). Diagnosing the nutritional condition of chestnut groves by soil and leaf analyses. *Scientia Horticulturae*, 113–121.
- Azevedo, J. E. V. (2014). *Resposta do castanheiro à aplicação de fertilizantes ao solo*. Mestrado em Agroecologia. Instituto Politécnico de Bragança.
- Barreira, J. C. M., Casal, S., Ferreira, I. C. F. R., Oliveira, M. B. P. P., & Pereira, J. A. (2009). Nutritional, Fatty acid and triacylglycerol profiles of castanea sativa Mill. Cultivars: A Compositional and Chemometric Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(7), 2836–2842. <https://doi.org/10.1021/jf803754u>
- Barros, J. (2020). *Fertilidade do solo e Nutrição das plantas*. Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Fitotecnia. Universidade de Évora.
- Borges, O. M. P., Carvalho, J. L. R. S., Silva, A. P. C. M., Costa, R. M. L., & Costa, H. A. (2007). *Avaliação e Caracterização de variedades de castanheiro na Área da DROP Norte*.
- Cámara, M. A. O. (2016). *Diagnóstico nutricional de la alcachofa mediante análisis foliar*. Doctorado en Ciencias experimentales y biosanitarias. Universidad de Alicante.
- Comerford, N. (2005). Soil Factors Affecting Nutrient Bioavailability. In *Nutrient acquisition by plants* (Springer, Vol. 181, pp. 1–14).
- Costa, R. M. L. (2020). *Castanheiro: uma cultura milenar e marcante nas regiões de montanha*. <https://florestas.pt/conhecer/castanheiro-uma-cultura-milenar-e-marcante-nas-regioes-de-montanha/>
- Couto, J. O. do. (2018). *A gestão da cadeia de abastecimento sustentável: o negócio da castanha portuguesa*. Mestrado em Negócios Internacionais. Universidade do Minho.
- Cravo, M. da S., & Souza, A. de. (1996). Exportação de nutrientes por fruto de cupuaçuzeiro. *Embrapa Amazônia Ocidental-Resumo Em Anais de Congresso (ALICE)*.
- Decreto-Lei n.º 103/2015. (2015). <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/103-2015-67485179>
- Despacho n.º 1230/2018 / DRE. (2018). <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho/1230-2018-114627305>
- Efretuei, A. (2016). *Soil Nutrients - The Permaculture Research Institute*. <https://www.permaculturenews.org/2016/09/07/soil-nutrients/>

- Firestone, M. K. (1982). Biological denitrification. In *Nitrogen in Agricultural Soils*. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR22.C8>
- Firman, D., & Allen, E. (2007). Agronomic practices. In *Potato Biology and Biotechnology* (pp. 719–738). Elsevier Science.
- Francis, D. D., Vigil, M. F., & Mosier, A. R. (2008). Gaseous losses of nitrogen other than through denitrification. In *Nitrogen in Agricultural Systems*. <https://doi.org/10.2134/AGRONMONOGR49.C8>
- García-Serrano, P., Juan, J., Lucena, J., Sebastián, M., Criado, R., García, M. N., López Bellido, L., Betrán, J., Álvaro, A., Monreal, R., López, H., Prudencio, C., Fuster, L., Luis, J., Corrales, B., Urbano, P., Juan, T., Andi6n, P., Castro, J., ... Rodríguez, P. (2009). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*.
- Gomes-Laranjo, J., Ferreira-cardoso, J., Portela, E., & Abreu, C. G. (2007). Castanheiros. *Universidade Trás-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal*.
- Grassi, H. (2017). *A importância da nutrição das plantas: produtividade e qualidade*. Unesp - Universidade Estadual Paulista.
- Hodges, S. C. (2010). Soil fertility basics: NC certified crop advisor training. *NC: Soil Science Extension*.
- Instituto Nacional de Estatística - INE. (2021). *Estatísticas Agrícolas - 2020*. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=437147278&PUBLICACOESmodo=2
- Khan, M., Mobin, M., Abbas, Z., & Alamri, S. (2018). Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 5, 225–240. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09888-8>
- Kováčik, J., Klejdus, B., Bačkor, M., & Repčák, M. (2007). Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes. *Plant Science (Limerick)*, 172(2), 393–399. <https://doi.org/10.1016/J.PLANTSCI.2006.10.001>
- Ladeira, L. C. (2017). *Valor agronómico de fertilizantes enriquecidos com microrganismos fixadores de azoto*. Mestrado em Agricultura Tropical. Instituto Politécnico de Bragança.
- Laranjo, J. G., & Raimundo, F. (2021). *Fertilização de solos em castanheiro e nutrição vegetal*. Universidade Trás-Os-Montes e Alto Douro.
- McClellan, T., Deenik, J., & Singleton, P. (2007). *Soil Management*. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- Parry, M., Rosenzweig, C., & Livermore, M. (2005). Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1463), 2125–2138.
- Resende, Á. V. de, Borghi, E., Gontijo Neto, M. M., Fontoura, S. M. V., Borin, A. L. D. C., Oliveira Jr, A. de, Carvalho, M. da C. S., & Kappes, C. (2019). Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. *Embrapa Milho e Sorgo - Capítulo Em Livro Científico (ALICE)*, 342–398.
- Rodrigues, M. Â., Arrobas, M., Barroso, V., & Pereira, A. (2019). Resposta do castanheiro à

aplicação de fertilizantes organo-minerais e de libertação controlada de nutrientes. *Vida Rural*, 38–44.

Rodrigues, M. Â., Bento, A., & Arrobas, M. (2018). A amendoeira: estado da produção. *Revista Voz Do Campo*, I–II.

Rodrigues, M. Â., Raimundo, S., Pereira, A., & Arrobas, M. (2020). Large chestnut trees (*Castanea sativa*) respond poorly to liming and fertilizer application. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1261–1270. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00210-4>

Santos, J. dos. (2015). Fertilização: fundamentos agroambientais da utilização dos adubos e corretivos. *Porto, Portugal: Publindústria (in Portuguese)*.

Santos, J., & Quelhas, D. (2012). Agricultura biológica e fertilização. *Revista de Ciências Agrárias*, 35, 49–58.

Serrano, J. F., Santín Fernández, P. J., Sánchez Rodríguez, J. A., Del Pino Gutiérrez, F. J., & Melcón Martínez, P. (2001). El Castaño: manual y guía didáctica. In *Instituto de Restauración y Medio Ambiente*.