



**AVALIAÇÃO DA CORREÇÃO DO pH E DA APLICAÇÃO DE
NUTRIENTES NO DESENVOLVIMENTO DA OLIVEIRA EM DOIS
SOLOS ÁCIDOS DE XISTO E GRANITO**

João Arthur Bringhentti Ghelen

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

Orientação

Prof. Dr. Manuel Ângelo Rosa Rodrigues - IPB

Coorientação

Prof^a. Dra Margarida Arrobas – IPB

Prof. Dr. Wilson Itamar Godoy – UTFPR

Bragança

2023

João Arthur Bringhentti Ghelen

AVALIAÇÃO DA CORREÇÃO DO pH E DA APLICAÇÃO DE
NUTRIENTES NO DESENVOLVIMENTO DA OLIVEIRA EM DOIS
SOLOS ÁCIDOS DE XISTO E GRANITO

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 - Campus
Pato Branco.

Orientador: Manuel Ângelo Rosa Rodrigues.

Coorientadores: Margarida Maria Pereira Arrobas
Rodrigues.

Wilson Itamar Godoy.

Bragança

Instituto Politécnico de Bragança – IPB

2023

Agradecimentos

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

Às técnicas e técnicos dos laboratórios de Solos, Zootecnia e UNIQA, Rita Diz, Ana Pinto e David Cabral, por todo apoio prestado. Também agradeço a colega Soraia Raimundo por todo auxílio prestado, desde a coleta do material a campo ao beneficiamento das amostras e principalmente nos primeiros meses de adaptação nesta nova realidade.

Aos meus colegas Eduardo Cattuci, Luiz Henrique Guzzi e Davi Hasse pela amizade, conselhos e apoio ao longo desta fase.

Agradeço aos amigos que estiveram comigo durante a trajetória universitária. E, sobretudo, à minha família, aos meus queridos pais, tia/madrinha, irmã e prima que sem eles não teria sido possível.

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

*Aos meus Pais, Família e Amigos
Que me apoiaram ao longo de toda minha trajetória.*

Resumo

O presente trabalho aborda a cultura da oliveira (*Olea europaea L.*) e seu cultivo em solos ácidos, com foco na cultivar Cobrançosa, predominantemente cultivada no norte de Portugal. A pesquisa explora a correção do pH do solo e a aplicação de nutrientes no desenvolvimento da oliva em dois tipos de solos, xisto e granito, ambos de pH muito baixo. A tese aborda também a importância econômica da oliva, sua descoberta e expansão, adaptação ecológica, exigências nutricionais e o ambiente químico do solo. A oliva é uma árvore cultivada há cerca de seis mil anos e teve sua expansão iniciada pelos gregos na Península Ibérica. Ela se adaptou principalmente a solos neutros e alcalinos, sendo estas características químicas favoráveis ao seu desenvolvimento. Solos ácidos tendem a ser considerados desfavoráveis para o cultivo de olivas, devido à indisponibilidade de nutrientes essenciais e à presença de alumínio tóxico. Neste estudo, foi avaliada a resposta da planta à correção do pH do solo e à aplicação de alguns nutrientes, de acordo com os tratamentos: Testemunha não fertilizada (CN), aplicação de fósforo (+P), aplicação de boro (+B), aplicação de molibdênio (+Mo), testemunha fertilizada (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg), organizados em um delineamento experimental completamente casualizado com quatro repetições. Os resultados mostraram que a aplicação de fósforo teve pouca influência na concentração de nutrientes nas plantas, provavelmente devido à imobilização do fósforo pelo alumínio. Por outro lado, a adubação com boro resultou em aumento significativo na concentração desse nutriente, que é considerado escasso nos solos portugueses. Além disso, a aplicação de cálcio e magnésio promoveu melhorias no solo, aumentando o pH e a capacidade de troca catiônica. Isso contribuiu para neutralizar elementos tóxicos, como o manganês e o alumínio, e melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Palavras-chave: oliva; solo ácido; adubação; nutrientes; fertilizantes; elementos tóxicos; pH; cálcio e magnésio.

Abstract

The present work approaches the culture of the olive tree (*Olea europaea L.*) and its cultivation in acidic soils, focusing on the Cobrançosa cultivar, predominantly grown in northern Portugal. The research explores the correction of soil pH and the application of nutrients in olive tree development in two types of soil, schist and granite, both of which have very low pH. This thesis also addresses the economic importance of the olive tree, its discovery and expansion, ecological adaptation, nutritional requirements and the chemical environment of the soil. The olive tree has been cultivated for about six thousand years and had its expansion initiated by the Greeks in the Iberian Peninsula. It has adapted mainly to neutral and alkaline soils, these chemical characteristics being favorable to its development. Acidic soils tend to be considered unfavorable for growing olive trees, due to the unavailability of essential nutrients and the presence of toxic aluminum. In this study, the response of the plant to soil pH correction and to the application of some nutrients was evaluated, according to the treatments: unfertilized sample (CN), application of phosphorus (+P), application of boron (+B), application of molybdenum (+Mo), fertilized sample (CP) and application of calcium and magnesium (CaMg), organized in a completely randomized experimental design with four replications. The results showed that the application of phosphorus had little influence on the concentration of nutrients in the plants, probably due to the immobilization of phosphorus by aluminum. On the other hand, boron fertilization resulted in a significant increase in the concentration of this nutrient, which is considered scarce in Portuguese soils. In addition, the application of calcium and magnesium promoted improvements in the soil, increasing the pH and the cation exchange capacity. This contributed to neutralizing toxic elements such as manganese and aluminum and improving nutrient availability for plants.

Keywords: olive tree; acidic soil; fertilizing; nutrients; fertilizers; toxic elements; pH; calcium and magnesium.

Lista de Tabelas

Tabela 1: Concentrações adequadas de nutrientes nas folhas de oliveira propostas pelo Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva para amostragens de Verão. Os valores estão expressos na matéria seca (RODRIGUES et al., 2009).....	8
Tabela 2: Propriedades do solo de xisto (XIS) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdénio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	33
Tabela 3: Propriedades do solo de Granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdénio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	35
Tabela 4: Matéria seca dos tecidos cultivado em solo de xisto em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdénio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	36
Tabela 5: Matéria seca dos tecidos cultivado em solo de granito em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdénio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).....	37

Lista de Figuras

Figura 1: Poder tampão em dois solos (CAMARGOS, 2005).	11
Figura 2: Disponibilidade de nutriente correlacionado com o nível de pH (MALAVOLTA, 1979).	13
Figura 3: Imagem do local de implantação do experimento, campo experimental do Instituto Politécnico de Bragança (Google Earth, 2022).....	14
Figura 4: Coleta de dados, campo experimental do Instituto Politécnico de Bragança 03/04/2022.	15
Figura 5: Agitador magnético equipado com bureta	16
Figura 6: Equipamento utilizado para medir a absorvância de Boro.....	17
Figura 7: Equipamento para medição de nitrogênio.	18
Figura 8: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.	20
Figura 9: Concentração de boro (b), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) nas folhas da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.	22
Figura 10: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos caules da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.	24
Figura 11: Concentração de boro (b), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) nos caules da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada	

variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias	26
Figura 12: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas raízes da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.	28
Figura 13: Concentração de boro (b), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) nas raízes da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias	30
Figura 14: Concentração de alumínio (Al) nas raízes na variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.	31

Sumário

1	Introdução	5
2	Referencial Teórico	6
2.1	Descoberta e expansão da oliveira	6
2.2	Adaptação ecológica da oliveira.....	6
2.3	Exigências nutricionais da oliveira	7
2.4	Conceito de solo	9
2.5	Ambiente químico do solo	9
2.6	Efeito tamponante	10
2.7	Gesso agrícola e calcário x pH	11
2.8	Correlação entre pH e disponibilidade de nutrientes	12
3	Materiais e Métodos	13
3.1	Localização e solo	13
3.2	Condução do experimento.....	14
3.3	Determinações laboratoriais.....	16
3.3.1	Amostras de solos	16
3.3.1.1	pH	16
3.3.1.2	Acidez de troca	16
3.3.1.3	Fósforo e potássio extraíveis.....	16
3.3.1.4	Cobre, ferro, zinco e manganês	17
3.3.1.5	Boro	17
3.3.2	Amostras de plantas.....	18
3.3.2.1	Nitrogênio	18
3.3.2.2	Fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e manganês.....	18
4	Tratamentos estatísticos.....	19
5	Resultados	19
5.1	Concentração de macronutrientes nas folhas	19
5.2	Concentração de micronutrientes nas folhas	21

5.3	Concentração de macronutrientes nos caules.....	23
5.4	Concentração de micronutrientes nos caules.....	25
5.5	Concentração de macronutrientes nas raízes.....	27
5.6	Concentração de micronutrientes nas raízes.....	29
5.7	Concentração de alumínio nas raízes.....	31
5.8	Propriedades dos solos	32
5.9	Produção de matéria seca	36
6	Discussão	38
7	Conclusão	40
8	Referências	41

1 Introdução

Cultivada há cerca de seis mil anos no continente europeu e tendo seu centro de origem na região da Ásia Menor, a oliveira (*Olea europaea* L.) pertence à família Oleaceae. Essas são majoritariamente árvores e arbustos trepadores que produzem óleos essenciais em suas flores e frutos. Em 1986 ocorreu o Acordo Internacional do Azeite, onde ficou definido que a nomenclatura de azeite poderia somente ser atribuída para o óleo produzido a partir do fruto da oliveira, excluindo a utilização de solventes e mistura com outros tipos de óleos (CORRÊA et al., 2001).

Os primeiros estudos de oliveira surgiram em 1784 onde o pesquisador João Antonio Dalla-Bella professor da Universidade de Coimbra explanou duras críticas sobre as más práticas que eram utilizadas na condução dos olivais (REIS, 2014).

Cultivada com maior expressão no continente europeu, o qual possui solos com ambiente químico em geral neutro ou alcalino ($\text{pH} > 7$), a oliveira passou por uma seleção natural, tendo adaptabilidade para estes tipos de solos. Esse diagnóstico nos proporciona saber que a disponibilidade e absorção de nitrogênio será limitada principalmente pelos baixos níveis de matéria orgânica presente nestes solos. Também são encontradas grandes quantidades de solos calcários provocando deficiência de potássio e magnésio pelo excesso de carbonato de cálcio, bem como a baixa absorção de micronutrientes por conta do elevado pH.

Em todo o mundo é menos comum encontrar cultivos de oliveira em solos ácidos bem como estudos neste tipo de ambiente químico ($\text{pH} < 7$). Quando tratamos de solos com pH inferior a 5 há indisponibilidade de macronutrientes e também alto nível de alumínio tóxico (Al^{3+}) complexando principalmente o fósforo.

Portanto, essa pesquisa visa estudar a avaliação da correção do pH e da aplicação de nutrientes no desenvolvimento da oliveira em dois solos ácidos de xisto e granito, utilizando a cultivar Cobrançosa, popularmente produzida no norte de Portugal, que possui predominantemente solos ácidos.

2 Referencial Teórico

2.1 Descoberta e expansão da oliveira

Sendo um dos primeiros frutos a ser utilizados pela humanidade, originário da região conhecida como Ásia Menor onde nos tempos atuais se encontram os Estados da Síria e Iran há cerca de seis mil anos temos os primeiros indícios da utilização da oliva, *Olea europaea* L. Essa conquistou o velho continente, tendo sua expansão sido iniciada pelos gregos com cultivos na Península Ibérica no ano 600 a.C.

Rapidamente atingiu toda a área do mediterrâneo onde além de sua importância nutricional com o consumo *in natura*, a transformação em azeite se iniciou, também conquistou representatividade religiosa sendo utilizada socialmente em cultos.

Na América os primeiros cultivos foram introduzidos primariamente no México por volta do século XVI se difundindo para Peru, Chile, Argentina e Estados Unidos. As cultivares introduzidas eram com o foco em consumo do fruto fresco. A rápida difusão da oliva levou a uma seleção e hibridação realizada pelos próprios produtores, onde a mesma começou a ser classificada para o consumo *in natura* e processamento para azeite.

Durante os anos de 1998 a 2001 um trabalho de prospecção, caracterização e identificação morfológica foi realizado para se classificar as variedades presentes na América onde foram identificadas 15 variedades originárias de diversas regiões do continente europeu e asiático. (TAPÍA et al., 2003).

2.2 Adaptação ecológica da oliveira

Temperaturas consideradas ótimas para o desenvolvimento da oliveira estão situadas entre 10 °C e 30 °C. Acima de 35 °C se inicia o processo de regulação térmica da planta, onde a mesma fecha seus estômatos para diminuir a perda de água para atmosfera. Sendo uma planta de clima mediterrâneo latitudes entre 30 ° e 45 ° do hemisfério Norte e Sul favorecem o seu desenvolvimento.

Plantas como a oliva necessitam de frio para quebrar a dormência e iniciar seu processo reprodutivo fenômeno denominado vernalização. Contudo, seu desenvolvimento é limitado quando exposta a temperaturas negativas. Hoje com a evolução da pesquisa e a inserção de genes de resistência existem variedades tolerantes ao frio as quais sofrem menos em ambientes com baixas temperaturas (MAIA, 2010).

2.3 Exigências nutricionais da oliveira

Como na grande maioria dos seres vivos, as plantas apresentam em sua composição 70% a 90% de água e entre 10% e 30% de matéria seca essa que é composta em sua maioria por carbono, oxigênio e hidrogênio os quais são absorvidos pelas plantas diretamente do solo, água e atmosfera. Outros nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta são absorvidos da solução do solo.

Esses são separados em dois grandes grupos, sendo os macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, aqueles essenciais para o crescimento e desenvolvimento da planta e que são absorvidos em maiores quantidades. Os micronutrientes: ferro, manganês, cobre, zinco, boro, cloro, molibdênio, níquel, também são essenciais para o bom desenvolvimento da planta, porém esses são absorvidos em menores quantidades, quando ocorre uma absorção exacerbada desses micronutrientes as plantas podem vir apresentar sintomas de toxicidade causando reflexos na produtividade e principalmente na qualidade dos frutos. (CALOURO et al., 2022).

Culturas arbóreas como a oliveira possuem em sua estrutura a capacidade de armazenar fotoassimilados em alguns de seus órgãos, variando a velocidade de translocação dos mesmos. A exigência da planta por nutrientes varia de acordo com o seu ciclo fenológico.

O nitrogênio, grande responsável pelo desenvolvimento vegetativo como folhas, ramos, troncos e raízes também é fundamental no processo reprodutivo, fase de floração e frutificação. Esse será exigido em maiores quantidades no período de rebentação (rebrotação) e durante o endurecimento do caroço (enchimento do fruto). Rodrigues e Arrobas (2013) exaltando as dificuldades para se prescrever uma adubação precisa, indicam aplicações de até 60 unidades de nutrientes por hectare em olivais adultos, sendo 300 kg ha⁻¹ de um fertilizante nitrogenado com 20% de nitrogênio.

O potássio é fundamental para manter em equilíbrio as atividades metabólicas da planta, regulando seu estado hídrico e conferindo maior resistência a condições climáticas adversas e ataques de pragas e doenças por promover maior resistência a epiderme da planta evitando ferimentos os quais são utilizados por microrganismos para adentrar no sistema vascular das mesmas. O nutriente é exigido em maiores quantidades durante a diferenciação dos gomos, floração e desenvolvimento do fruto.

O fósforo apresenta sua importância na multiplicação celular, no desenvolvimento radicular e também na floração.

O cálcio é considerado um importante constituinte da parede celular, mas também é utilizado nos processos de expansão celular, respiração e maturação dos frutos. As aplicações de cálcio são direcionadas para os períodos de maior crescimento das árvores.

O boro tem grande relevância no processo reprodutivo das olivas. Quando em falta (condição comumente encontrada nos solos de Portugal) pode levar a redução no número de flores viáveis e interferir no vingamento dos frutos, tendo assim sua maior necessidade no período de floração. Rodrigues e Arrobas (2013) indicam a aplicação de 2 unidades por hectare em olivais adultos, sendo 75 a 100 g por árvore de um fertilizante com 10 a 15% de boro.

O ferro dentre os micronutrientes é o qual apresenta maior exigência referente a quantidade necessária para um bom desenvolvimento da oliva. Manganês, zinco e cobre são exigidos em baixas quantidades onde a quantidade presente nos solos na maioria dos casos já atende a necessidade (AFONSO, 2020).

Tabela 1: Concentrações adequadas de nutrientes nas folhas de oliveira propostas pelo Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva para amostragens de Verão. Os valores estão expressos na matéria seca (RODRIGUES et al., 2009).

Elemento	Concentração Adequada
Azoto	1,5 – 2,0%
Fósforo	0,1 – 0,3%
Potássio	0,8 – 1,2%
Cálcio	> 1%
Magnésio	0,08 – 0,3%
Enxofre	0,15 – 0,3%
Ferro	>40 ppm
Manganês	20 – 80 ppm
Zinco	12 – 35 ppm
Cobre	5 – 20 ppm
Boro	19 -50 ppm

Na tabela 1 é possível observar a concentração adequada de nutrientes nos tecidos para um bom desenvolvimento do olival. Para atingirmos esses teores de absorção são necessárias uma série de medidas, entre elas a reposição de adubação a qual deve ser realizada de maneira consciente.

Para tal deve se possuir uma análise química e física do solo onde o olival está instalado para saber os níveis nutricionais e a textura. Com isso a reposição dos nutrientes deve ser feita na medida adequada de que a planta necessita de acordo com a produtividade esperada e também no momento adequado tanto climático quanto fisiológico, onde haverá a solubilização

destes minerais ficando disponível para absorção no momento em que a planta mais necessita do mesmo.

2.4 Conceito de solo

De acordo com Sposito (2008) o solo é definido como um meio poroso, gerado através do processo de intemperismo, mediado por fenômenos biológicos, geológicos e hidrológicos. Através da influência contínua do impacto da água e influência de microrganismos nas rochas se constituiu de forma vertical os horizontes do solo, os quais carregam as características de suas rochas originárias.

Pelo âmbito da química os solos são sistemas abertos e de multicomponentes contendo sólidos, líquidos e gases. Sendo um sistema aberto ocorre a troca de matéria e energia constante com a atmosfera, biosfera e hidrosfera. São esses fluxos os quais vão desenvolver os perfis de solo e regular os padrões de qualidade do mesmo.

Essencialmente os solos são compostos por metade a dois terços de matéria inorgânica, com isso mais de 90% representado por compostos sólidos.

2.5 Ambiente químico do solo

A termodinâmica, atividade entre prótons e elétrons irá definir o ambiente químico do solo que conseqüentemente irá determinar as atividades bióticas. Os prótons fornecidos ao solo pelos fluxos com a atmosfera e atividade orgânica reagem com bases que são encontradas geralmente em alumínio silicatos, carbonatos e outros constituintes minerais e húmicos.

Ambientes que possuam alta umidade e conseqüentemente altos níveis pluviométricos os cátions básicos (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) serão trocados de seus constituintes minerais e orgânicos por íons H^+ e serão lixiviados da superfície do solo, acidificando o mesmo.

Solos que possuem calcita e minerais argilosos os quais são saturados com cátions básicos são menos propensos ao processo de acidificação. Com a hidrólise contínua minerais secundários como caulinita, gibbsita e goethita são gerados formando uma solução tampão de pH entre 3,5 e 5. Quando temos condições contrárias em climas áridos e semiáridos a tendência é que a solução tamponante se de em um nível de pH alcalino, maior de 7.

O pH do solo tem influência em uma grande série de fatores como a atividade microbiana, solubilidade e ionização dos constituintes orgânicos e inorgânicos o qual afeta a atividade enzimática do solo. A matéria orgânica que é contida na biomassa viva é o material mais reduzido da biosfera, essa irá variar nos solos dependendo da dominância vegetativa do local e os níveis de oxigênio presente no solo pois a atividade metabólica dos microrganismos

produz elétrons durante a oxidação da matéria orgânica, esses elétrons agora livres são transferidos a carreadores, sendo o oxigênio o maior carreador.

A concentração de oxigênio nos solos é determinada por vários fatores como nível de encharcamento, tamanho de poros, compactação e textura. Quando todo o oxigênio disponível é consumido pela microbiologia do solo a solução passa a ser anaeróbica e a atividade microbiana será controlada pelo movimento de elétrons a carreadores alternativos.

Essa alteração resulta na mudança da população microbiana do solo, aumentando a atividade de organismos anaeróbicos e fermentativos. Isso gera a redução da disponibilidade de diversos elementos como nitrogênio, manganês, ferro e enxofre (PAUL, 2015).

Sendo um dos minerais mais utilizados na agricultura, o calcário atua como um neutralizante de alumínio tóxico (Al^{3+}) em solos ácidos, regulando o pH. A incorporação do mesmo por meio de revolvimento de solo apresenta maiores rendimentos, principalmente nos anos iniciais de cultivo. Esses efeitos normalmente estão restringidos a área de aplicação e poucos centímetros abaixo da mesma, variando entre os tipos de solo, esse fenômeno ocorre devido à baixa solubilidade e alta reatividade de seus ânions com os ácidos presentes no solo. Segundo Ernani *et al.* (2001) a baixa mobilidade de cálcio e magnésio, por outro lado, deve-se à pequena permanência dos ânions adicionados pelo calcário na solução do solo. Sendo assim, a quase totalidade do cálcio e do magnésio adicionada vai para as cargas negativas criadas pelo aumento do pH, e para as cargas anteriormente ocupadas pelo Al^{3+} , e só uma pequena parte fica na solução do solo.

Principalmente para culturas perenes onde o revolvimento é dificultado o gesso agrícola vem para auxiliar, diminuindo a toxicidade do Al^{3+} e na mobilização de cálcio para áreas mais profundas do perfil de solo o qual possui maior solubilidade e retenção de ânions sulfatos na solução do solo.

2.6 Efeito tamponante

Quando um solo é tratado com um ácido ou uma base o valor de pH desse irá ser alterado. O valor de pH é medido pela acidez ativa que diz respeito a concentração de H^+ livre na solução do solo (fase líquida).

A acidez potencial também chamada de acidez total faz referência ao conjunto de H^+ e Al^{3+} que estão adsorvidos nos colóides do solo (fase sólida), essa irá determinar a resistência do solo em ter seu valor de pH alterado, ou seja, quanto maior a acidez potencial maior será a dificuldade para alterar o valor de pH do solo. Alguns fatores determinantes para essa concentração são teor de argila, atividade da argila e teor de matéria orgânica (SPOSITO, 2008).

Exemplificando (Figura 1), quanto maior for a capacidade do solo de reter H^+ e Al^{3+} trocáveis, maior será a resistência a mudança de pH nesse solo.

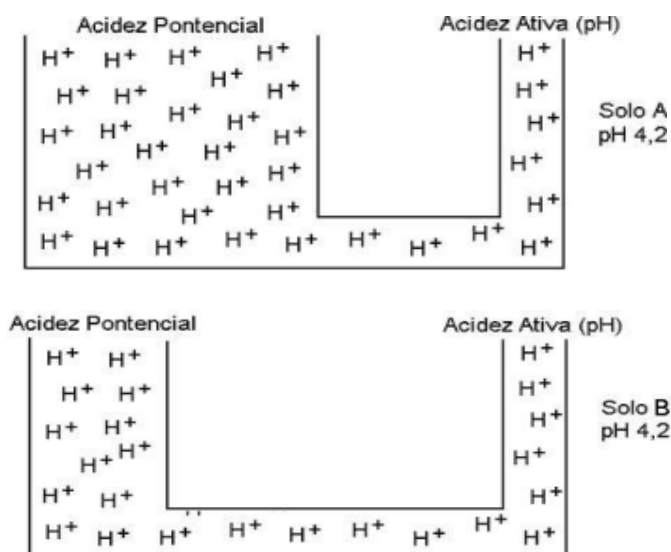


Figura 1: Poder tampão em dois solos (CAMARGOS, 2005).

Portanto, é preciso estar atento ao poder tampão quando se pretende realizar uma alteração no valor de pH do solo. Utilizando como exemplo a figura acima, buscando o mesmo valor de pH, podemos concluir que a dose utilizada para alterar o valor de pH do solo A será maior do que a dose utilizada no solo B. Em solos com menor poder tampão também se tem a necessidade de realizar amostragens frequentes, pois o processo de acidificação desses são mais acelerados.

2.7 Gesso agrícola e calcário x pH

A definição da correção de solos consiste em ter uma base capaz de neutralizar a acidez do solo, disponibilizando diretamente alguns nutrientes como cálcio e magnésio ao solo, e permitindo que outros nutrientes já presentes no sistema se tornem mais disponíveis podendo ser utilizados pelas plantas.

Antes de ser realizada a prática da correção da acidez dos solos é necessário efetuar uma análise química dos mesmos para saber quais são os níveis de toxicidade que a acidez está causando ao solo, e também saber qual produto será mais eficiente para aplicação, tanto em questão de aumentar o pH como para ajudar a elevar a saturação por bases.

Existem diferentes tipos de corretores de solo, como por exemplo, calcários, óxidos de cálcio, cal, entre outros.

Os corretores de solo mais utilizados para a função são geralmente os calcários, obtidos de rocha calcária, sendo classificados como calcíticos ($CaCO_3$) ou dolomíticos ($MgCO_3$) dependendo dos teores de magnésio presentes em sua composição química. Quando os teores

de magnésio são inferiores a 10% são classificados como calcíticos, quando os valores se encontram entre 10% a 25% são classificados como magnesianos, e quando superiores a 25% são classificados como dolomíticos (ALCARDE, 2005).

Os métodos de aplicação do calcário variam de acordo com o tipo de solo. Quando o solo é considerado arenoso, são realizadas aplicações mais frequentes em doses menores, pelo fato de ocorrer mais facilmente processos naturais como a lixiviação. Já em solos argilosos acontece o contrário, sendo realizadas aplicações com doses mais elevadas, porém com um período de tempo entre as aplicações maior. Também é importante levar em conta que após aplicação do calcário pode levar cerca de 3 a 6 meses para que seu efeito ocorra, tendo por referência que o produto é aplicado na camada superficial em torno de 0,20 m.

Também deve-se ter cuidado na dosagem de aplicação do calcário, pois com doses muito elevadas é provável que ocorra um incremento muito elevado dos níveis de cálcio e magnésio, assim dificultando que a planta absorva outros nutrientes como o potássio.

Quando ocorre a presença de alumínio tóxico em profundidades mais elevadas, pode aplicar-se gesso agrícola para a sua neutralização. Porém o gesso não é considerado um corretivo, uma vez que não é capaz de liberar íons como OH^- para a neutralização do pH.

2.8 Correlação entre pH e disponibilidade de nutrientes

Braga (2012) comenta que o pH do solo serve também para avaliar as condições de um solo: ácido, neutro ou alcalino, a escala de pH vai do 1 ao 14, sendo 7 a neutralidade, abaixo de 7 a acidez e acima de 7 a alcalinidade. A faixa ideal de pH para o desenvolvimento das plantas é de 6,0 a 6,5.

Os solos muito ácidos apresentam problemas para a agricultura pois as cargas dos colóides do solo estarão ocupadas por íons H^+ e Al^{3+} o qual é tóxico para as plantas, interferindo em seu desenvolvimento radicular. Por se apresentarem em maiores concentrações nesta situação ganharão a competição com bases como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

A maioria das plantas não possuem grande desenvolvimento radicular em solos com pH ácido, muito disto está relacionado com o excesso de Al^{3+} o qual retarda o crescimento em comprimento (vertical) e também na distribuição das raízes (horizontal). O mineral interfere no processo de divisão celular paralisando o crescimento das raízes e podendo causar alterações morfológicas na parte aérea pois impede a absorção de água e nutrientes (CAIRES, 2012).

Em solos considerados alcalinos ocorre uma deficiência na disponibilidade de fósforo, pois são formados fosfatos de cálcio, forma a qual não é solúvel e, portanto, o sistema radicular não é capaz de absorver. Nota-se também em solos com pH alcalino uma deficiência de

micronutrientes (BRAGA, 2012). A figura 2 mostra a relação entre o pH e a disponibilidade de nutrientes no solo.

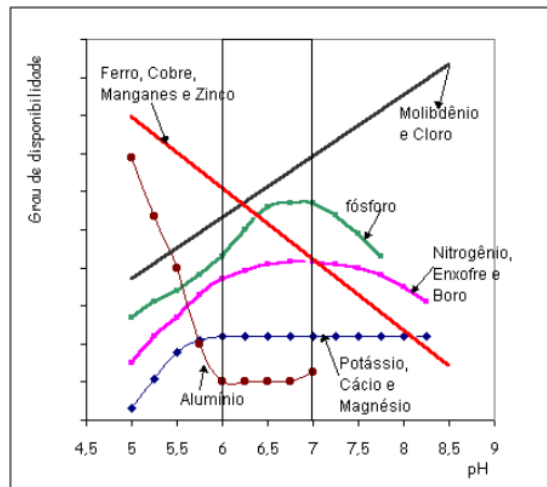


Figura 2: Disponibilidade de nutriente correlacionado com o nível de pH (MALAVOLTA, 1979).

Analisando a figura 2 é possível observar a disponibilidade de cada nutriente correlacionado ao teor de pH do solo. O nitrogênio e o fósforo são absorvidos em uma faixa ideal entre 6,0 e 6,5, valores superiores já apresentam decréscimo na disponibilidade. Já o potássio apresenta uma linha estável de disponibilidade entre 5,5/6 e 8,5.

3 Materiais e Métodos

3.1 Localização e solo

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Instituto Politécnico de Bragança localizado na cidade de Bragança (Figura 3), região de Trás-os-Montes, nordeste de Portugal cuja latitude é 41°79'67''N, longitude 6°76'19''W. O local das estufas apresenta altitude de 675 m. Segundo Koppen o clima é caracterizado como Csb, tendo média pluviométrica de 900 mm e temperatura de 11 °C (MENEZES, 2017).

No estudo foram utilizados dois solos, um derivado de xisto, coletada em Mirandela, e outro derivado de granito, coletado em Valpaços. Os xistos são rochas metamórficas enquanto os solos graníticos são derivados de rochas ígneas. O solo derivado de xisto foi coletado de uma parcela não cultivada e o de granito foi coletado numa parcela cultivada com vinha. Foi amostrada a camada superficial (0-20 cm), devidamente homogeneizada e crivada, e o solo colocado posteriormente nos vasos com capacidade para 3 kg de solo.

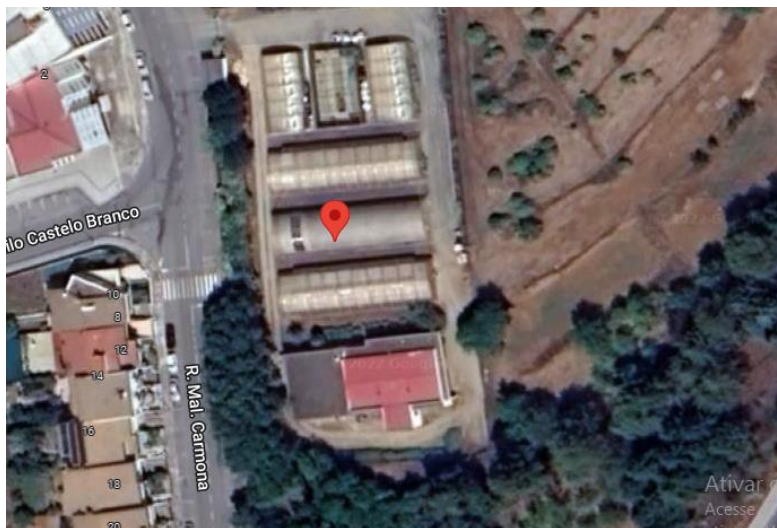


Figura 3: Imagem do local de implantação do experimento, campo experimental do Instituto Politécnico de Bragança (Google Earth, 2022).

3.2 Condução do experimento

O estudo consistiu em dois experimentos independentes organizados de forma completamente casualizada, em cada um dos solos de xisto e granito como referido anteriormente. Foi utilizada a cultivar Cobrançosa, explorada em grande extensão no norte de Portugal onde predominam os solos ácidos.

Em ambos os experimentos foram incluídos seis tratamentos, correspondentes a: i) aplicação de calcário e magnésio (CaMg); ii) aplicação de fósforo (+P); iii) aplicação de molibdénio (+Mo); iv) aplicação de boro (+B); v) controle positivo (CP), com aplicação de todos os nutrientes referidos; e vi) controle negativo (CN), sem adição de fertilização. De todos os tratamentos foram incluídas três repetições (três vasos).

No tratamento CaMg foi aplicado cálcio, na forma CaCO_3 à razão de 5 Mg ha^{-1} ($7,5 \text{ g vaso}^{-1}$, CaCO_3), e magnésio da forma de sulfato de magnésio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) na dose de 15 kg ha^{-1} de magnésio ($0,125 \text{ g vaso}^{-1}$). O fósforo foi aplicado na forma de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) e na dose correspondente a 30 kg ha^{-1} (P_2O_5), ou seja $0,115 \text{ g vaso}^{-1}$. O molibdénio foi usado na forma heptamolíbdató de amónio ($\text{H}_{24}\text{Mo}_7\text{N}_6\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e aplicado à razão de 200 g ha^{-1} , ou seja, $1,7 \text{ mg vaso}^{-1}$. O boro foi aplicado na forma de ácido bórico (H_3BO_3) na dose de 1 kg

ha⁻¹, correspondendo a 8,3 mg vaso⁻¹. No tratamento CP usaram-se todos os fertilizantes referidos anteriormente e no tratamento CN não foi utilizado qualquer tipo de fertilizante.

Todos os tratamentos exceto CN levaram nitrogênio e potássio com o objetivo que não fossem estes nutrientes a limitar o crescimento das plantas. O nitrogênio aplicou-se na forma de nitrato de amônio à razão de 60 kg ha⁻¹, dividido por três aplicações anuais de 20 kg ha⁻¹, o que corresponde a 0,1 g vaso⁻¹ de N. No caso do potássio aplicaram-se 30 kg ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio. Em cada vaso aplicaram-se 0,045 g de potássio. Os cálculos da aplicação dos adubos tiveram por base o peso de terra por vaso (3 kg) e que em um hectare existem aproximadamente 2000000 kg de terra fina e que a estas jovens plantas se distribuem nos vasos de forma equivalente a 120 000 plantas ha⁻¹.

Após o início do experimento as plantas foram colocadas numa bancada em uma estufa de cobertura de policarbonato de parede dupla. Nas primeiras semanas sempre que surgiam ervas daninhas eram arrancadas de imediato. Durante todo o período experimental, as plantas foram regadas de forma a manter o solo úmido, mas sem excesso de umidade. A quantidade de água aplicada dependeu da estação do ano e, de maneira geral, da temperatura ambiente, mas também do nível de desenvolvimento das plantas, sendo estas as principais variáveis que determinam a evapotranspiração.

Para coleta do material produzido, foi realizado manualmente a retirada das plantas dos vasos, separando material vegetal do solo (Figura 4). Já com o material no local utilizado para recepção e beneficiamento dos experimentos, separou-se o material vegetal em folhas, caules e raízes, que foram secos em estufa e realizado a pesagem individual de cada componente por tratamento. Após se ter o peso seco dos tratamentos, foi realizado a maceração dos tecidos vegetais por ordem dos tratamentos, preparando os mesmos para as análises laboratoriais. Os solos, também foram secos em estufa e realizado a crivagem e pesagem das amostras pelos tratamentos do trabalho.



Figura 4: Coleta de dados, campo experimental do Instituto Politécnico de Bragança 03/04/2022.

3.3 Determinações laboratoriais

3.3.1 Amostras de solos

3.3.1.1 pH

A determinação de pH em água foi realizada a partir de uma proporção de 1 para 1,25 (p/v), consistente entre solo e água, após uma agitação de duas horas. Também foi determinado o pH em cloreto de potássio, utilizando uma proporção de 1 para 2,5 (p/v) de solo e 1M de KCl, após ser agitado por um período de duas horas. A leitura dos resultados obtidos foi realizada através do método de potenciometria.

3.3.1.2 Acidez de troca

Para determinar a acidez de troca do solo, adicionaram-se 10 gramas de amostra de solo a 100 ml de uma solução de KCl 1M e agitou-se por 30 minutos. Após filtrada a suspensão, fez-se uma titulação com NaOH 0,1 M, usando fenolftaleína como indicador.



Figura 5: Agitador magnético equipado com bureta

3.3.1.3 Fósforo e potássio extraíveis

Os teores de fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) foram determinados utilizando o método de Egner-Riehm, que consiste em misturar uma amostra de solo com uma solução de lactato de amônio e ácido acético, em proporção 1:20 (p/v), tamponada a pH 3,5, agitando por duas horas e, em seguida, filtrar a solução (MAP, 1977). O teor de fósforo foi medido por espectrofotometria UV/VIS, a uma frequência de 882 nm, após desenvolvimento de cor pelo método do ácido ascórbico. Esse método consiste na formação de um complexo ácido fosfomolibdênico que é reduzido a azul-fosfo-molibdênico na presença de ácido ascórbico (VAN REEUWIJK, 2002). Para determinar o teor de potássio, foi realizada a fotometria de chama,

utilizando o equipamento espectrofotômetro de chama. O equipamento utilizado para a medição do teor de fósforo foi o espectrofotômetro UV/VIS T80 PG Instrument Lda.

3.3.1.4 Cobre, ferro, zinco e manganês

Os teores dos elementos ferro, cobre, zinco e manganês foram determinados usando uma solução extratora de acetato de amônio, ácido acético e ácido etileno diaminotetracético. A quantificação foi realizada por espectrometria de absorção atômica, conforme descrito por Lakanen e Ervio (1971), utilizando o equipamento PYE Unicam PU 9100X.

3.3.1.5 Boro

O boro foi extraído do solo pelo método de água fervente na presença de CaCl_2 0,1M e, em seguida, quantificado por meio do método colorimétrico utilizando a azometina^H como reagente de desenvolvimento de cor. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro.



Figura 6: Equipamento utilizado para medir a absorbância de Boro.

3.3.2 Amostras de plantas

3.3.2.1 Nitrogênio

Para a determinação do teor de nitrogênio nas amostras de tecido vegetal, pesou-se 1 grama de amostra e transferiu-se para tubos de digestão para equipamentos para medição de nitrogênio, que foram colocados em um suporte de alumínio com capacidade para 20 frascos. Em seguida, adicionou-se duas pastilhas de um catalisador (selênio) e 15 ml de ácido sulfúrico concentrado (95-97%) e aqueceu-se as amostras a 400 °C durante 40 minutos. Após o período de digestão, deixou-se esfriar e transferiu-se o tubo de digestão para um equipamento automático, ao qual foi adicionada uma quantidade de hidróxido de sódio. A amônia formada foi arrastada na corrente de vapor e titulada com ácido clorídrico em um vaso contendo uma solução receptora de ácido bórico e indicadores (BREMNER, 1996).



Figura 7: Equipamento para medição de nitrogênio.

3.3.2.2 Fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco e manganês

Foram pesadas 0,25 g das amostras e transferidas para tubos de digestão. Em seguida, adicionou-se 10 ml de ácido nítrico nos tubos, que foram fechados e levados para digestão em micro-ondas MARSXpress. Após a digestão, o líquido foi transferido para um tubo de 50 ml e completado com água desionizada. Os teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês foram quantificados por espectrometria de absorção atômica em um equipamento PYE Unicam PU 9100X. Para a determinação do fósforo, adicionou-se 4,0 ml da solução molibdato de amônio azul com ácido ascórbico após a diluição. Após 35 minutos, as leituras de absorbância foram realizadas em um espectrofotômetro a um comprimento de onda de 882 nm.

4 Tratamentos estatísticos

Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade de variância e ANOVA unidirecional na plataforma SPSS. Quando se registavam diferenças significativas ($P < 0,05$) as médias eram separadas pelo teste Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

5 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.

5.1 Concentração de macronutrientes nas folhas

A figura 8 mostra a concentração de macronutrientes das folhas para cada solo em função dos tratamentos. Para cada nutriente, como nitrogênio o tratamento que apresentou maior média em oliveiras cultivadas em solo de xisto foi +Mo, seguido de CP.

Para o fósforo observa-se em plantas cultivadas em solos de xisto que as médias se mantiveram próximas não variando estatisticamente de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Quando analisamos as plantas do solo de granito destaca-se o tratamento CN (2,60 g kg⁻¹), apresentando média quase duas vezes superior ao solo de xisto (1,42 g kg⁻¹).

Cálcio obteve a maior média entre os tratamentos em CP e sua menor média no tratamento +P para plantas cultivadas em solo de xisto. Já para plantas do solo de granito a maior média observada foi no tratamento CaMg e a menor média no tratamento +P não se diferenciando do tratamento +Mo. Potássio e magnésio por sua vez não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos em nível de 5% de probabilidade de erro.

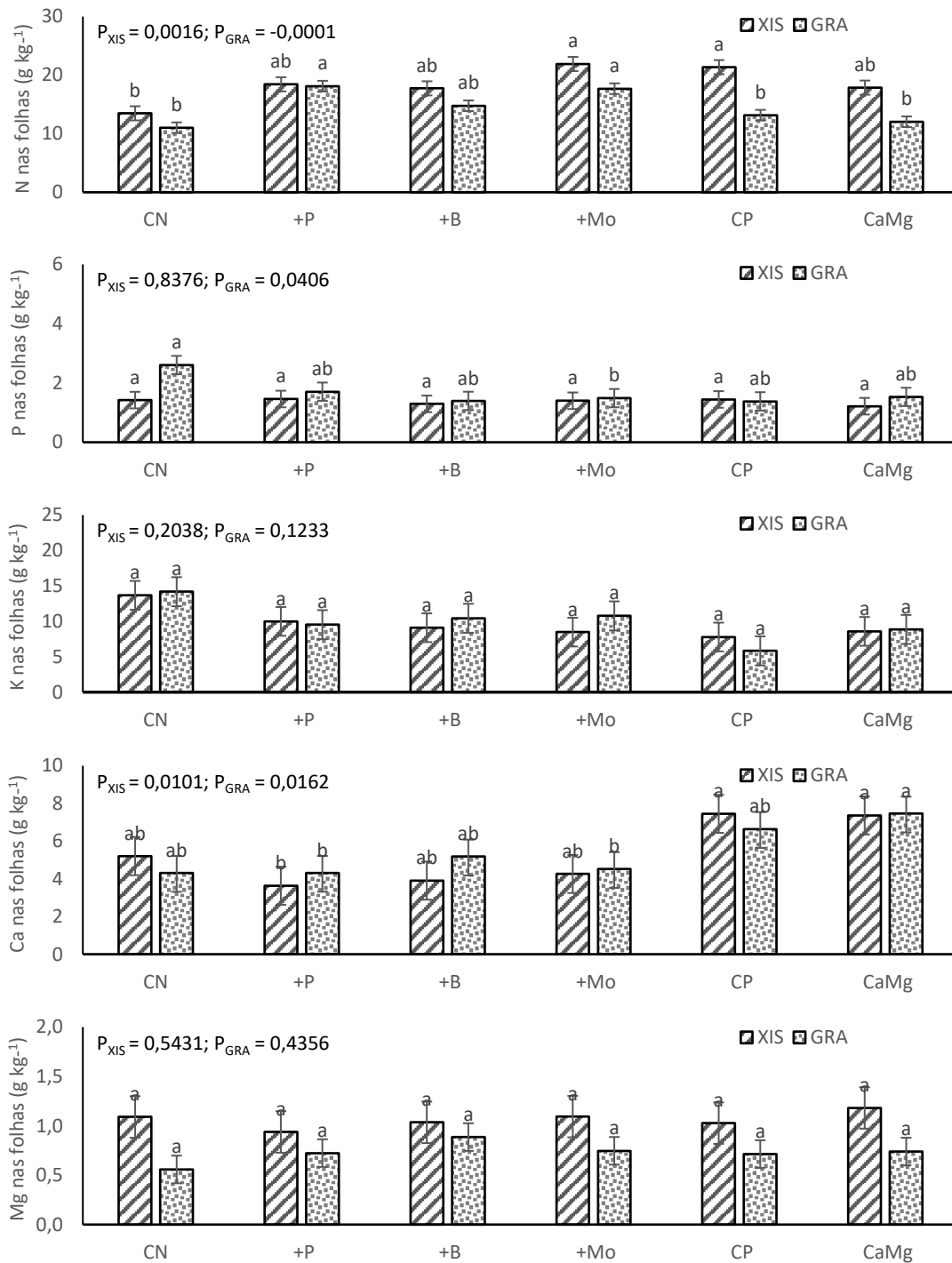


Figura 8: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.

5.2 Concentração de micronutrientes nas folhas

A figura 9 apresenta a concentração de micronutrientes nas folhas para cada solo em função dos tratamentos. Para o boro em plantas cultivadas sobre o solo de xisto, as maiores médias foram do tratamento +B, já a menor média é observada no tratamento +P.

Ferro nas folhas das plantas do solo de xisto apresentou maior média no tratamento CN não se diferenciando dos tratamentos +P, CP e +B. Em plantas cultivadas em solo de granito a maior média é encontrada no tratamento +P, já a menor é observada no CP não diferenciando-se dos demais tratamentos.

Para o nutriente manganês a média com maior relevância em plantas cultivadas em solo de xisto foi encontrada no tratamento +B não se diferenciando significativamente de CN, +P e +Mn. Já a menor média é encontrada no tratamento CP não diferenciando-se de CaMg. Em plantas do solo granito a maior média é do tratamento +P e a menor do CaMg.

Relativamente ao nutriente zinco para plantas cultivadas em solo de xisto a maior média é encontrada no tratamento +Mo e a menor no CN, não diferenciando-se estatisticamente entre os tratamentos. Quando analisamos as plantas do solo de granito observamos a maior média em +B e a menor CN. Quanto ao Cobre para plantas do solo xisto a maior média também é encontrada no tratamento +Mo e a menor no tratamento CaMg. Já para plantas de granito a maior média é a do tratamento de +P e a menor a do tratamento CP.

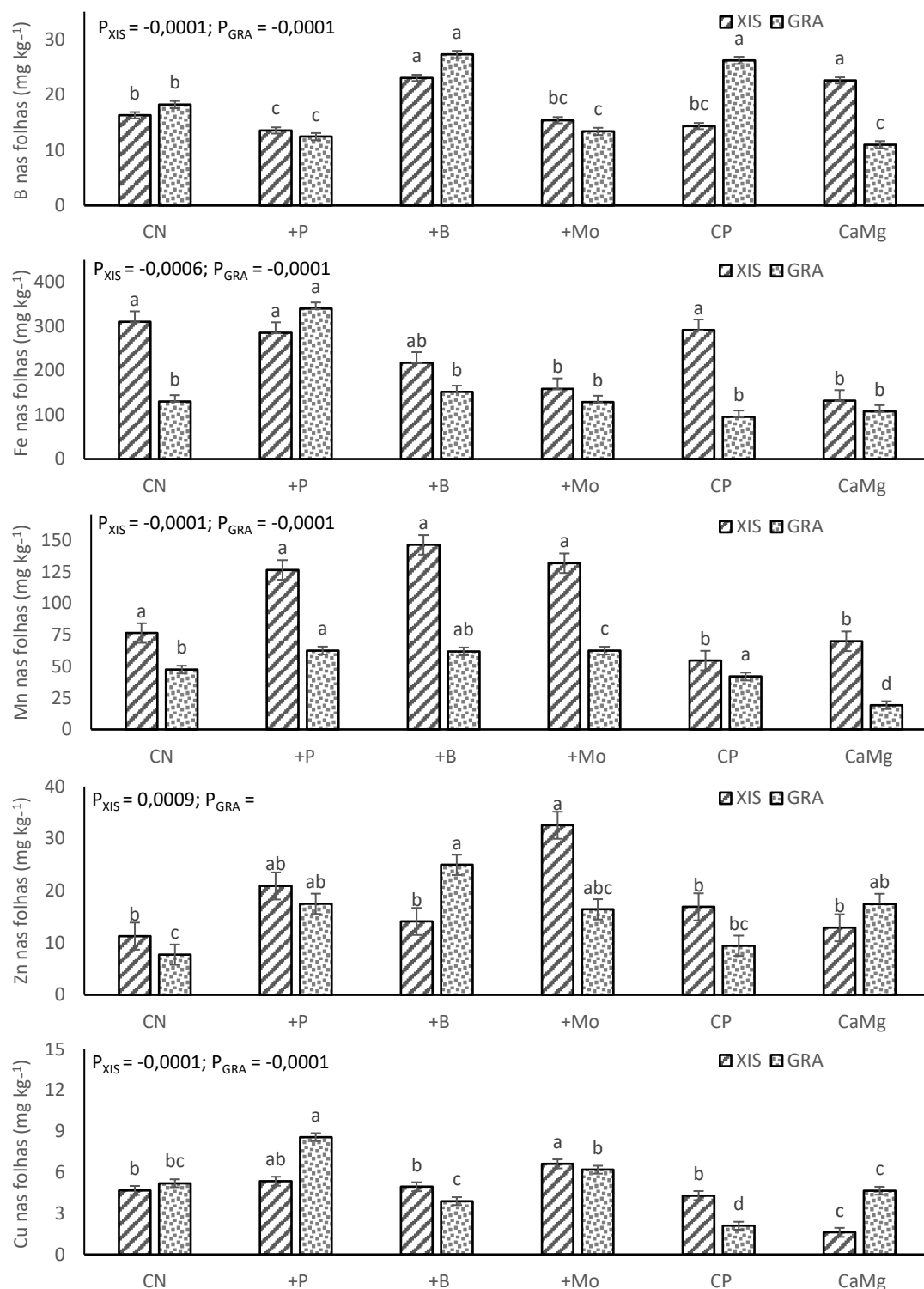


Figura 9: Concentração de boro (b), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) nas folhas da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.

5.3 Concentração de macronutrientes nos caules

A figura 10 apresenta a concentração de macronutrientes nos caules para cada solo em função dos tratamentos. Para o nitrogênio em plantas cultivadas sobre o solo de xisto a maior média é encontrada no tratamento +Mo diferenciando-se somente do CN.

Seguindo o mesmo padrão as plantas cultivadas em solo de granito obtiveram a maior média no tratamento +Mo, não se diferenciando de +P e CaMg. Já as menores médias foram encontradas no tratamento CN para ambos os tipos de solo.

Quanto ao fósforo, potássio, cálcio e magnésio para os dois tipos de solo não houve diferença significativa a uma probabilidade de erro de 5%.

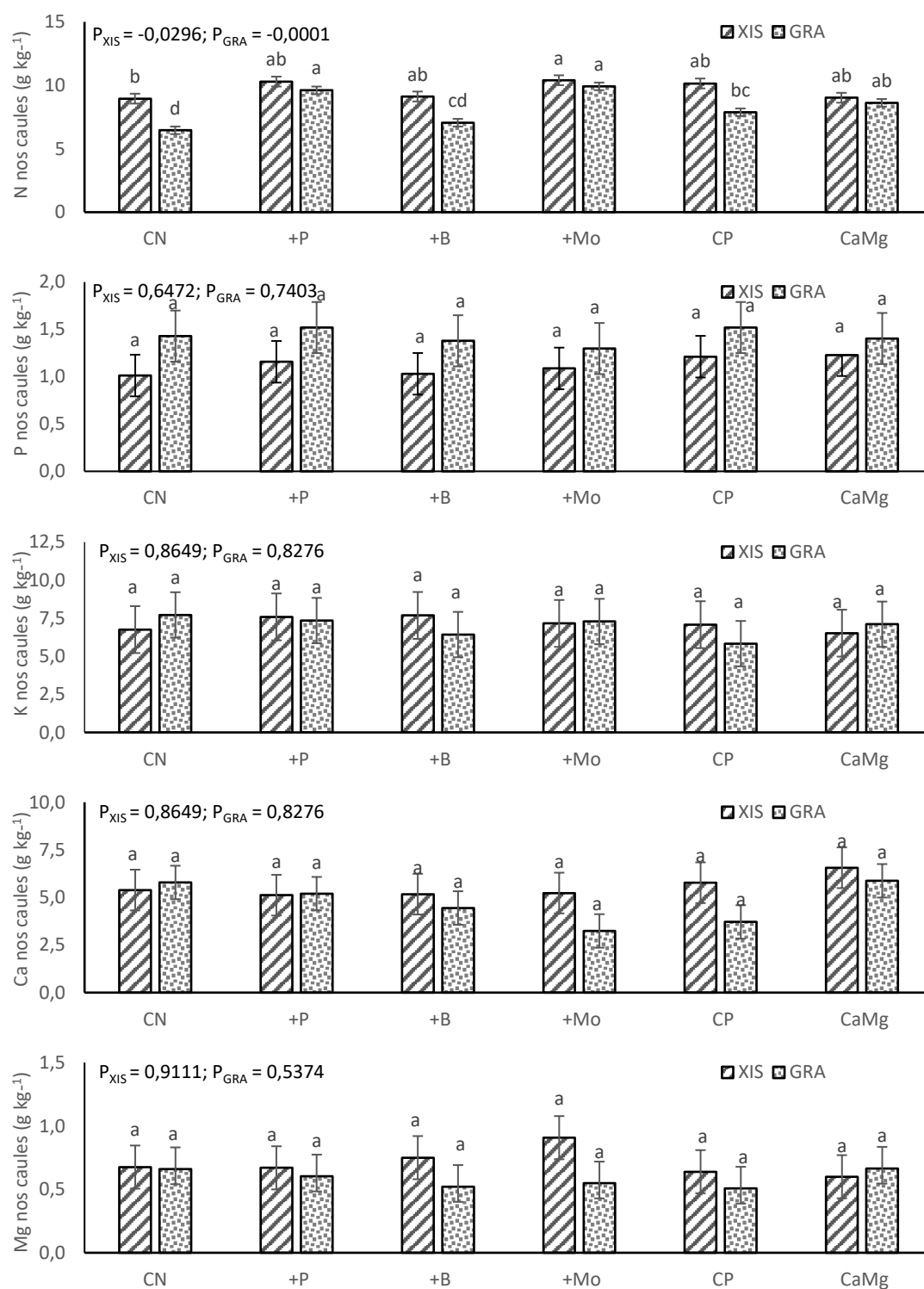


Figura 10: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nos caules da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.

5.4 Concentração de micronutrientes nos caules

A figura 11 apresenta a concentração de micronutrientes dos caules para cada solo em função dos tratamentos. Para o boro, em plantas cultivadas sob solo de xisto a maior média segue uma certa lógica e é encontrada no tratamento +B não se diferenciando, contudo, do tratamento CaMg. Também para plantas do solo de granito se mantém a lógica, observando a maior média no tratamento +B, sem diferença para os tratamentos CN e CP.

Para as plantas cultivadas em ambos os solos em relação ao nutriente ferro, o tratamento CN obteve a maior média, diferenciando-se de todos os demais tratamentos.

O nutriente manganês para plantas cultivadas em xisto obteve maior média no tratamento +B, porém não diferenciando-se significativamente de CN. Já para as plantas de solo de granito a maior média foi observada no tratamento CN não diferenciando-se do tratamento de +P.

O zinco analisado em plantas cultivadas sobre solo de xisto registrou a maior média no tratamento +B, não diferenciando-se significativamente dos tratamentos CN e +Mo. Para plantas cultivadas em solo de granito a maior média foi obtida no tratamento +Mo não se diferenciando dos tratamentos CN e CP.

Analisando o cobre para as plantas cultivadas em solo de xisto a maior média encontrada foi no tratamento +B, diferenciando-se de todos os demais tratamentos. Já para plantas de granito a média com maior relevância foi encontrada no tratamento +Mo, porém não diferenciando-se do tratamento CP e CaMg.

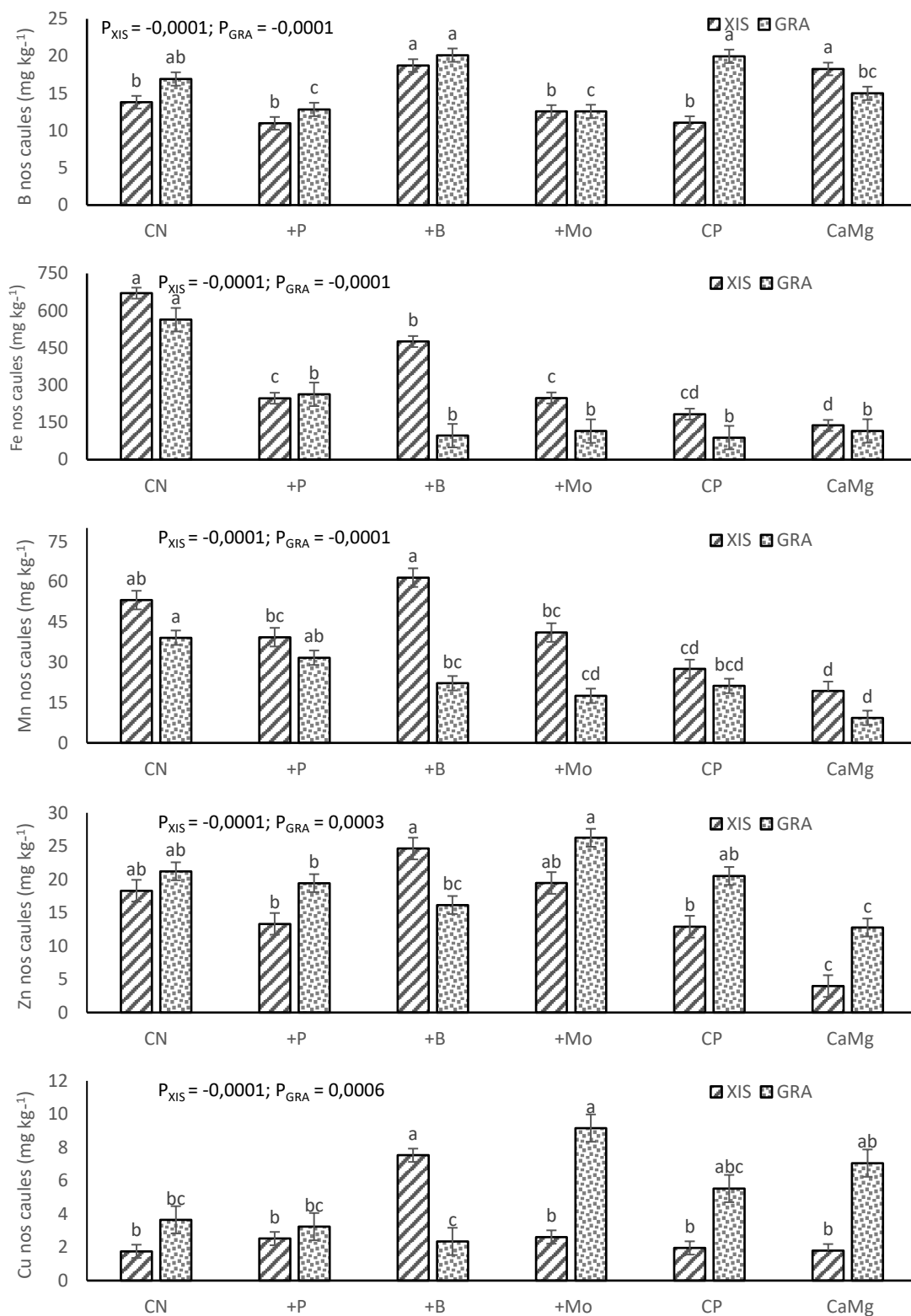


Figura 11: Concentração de boro (b), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) nos caules da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias

5.5 Concentração de macronutrientes nas raízes

A figura 12 apresenta a concentração de macronutrientes nas raízes para cada solo em função dos tratamentos. Para o nitrogênio, em plantas cultivadas sob solo de xisto, a maior média obtida se dá no tratamento +Mo, não se diferenciando dos tratamentos +P e CP. Já para plantas cultivadas no solo de granito, a maior média encontrada foi no tratamento CaMg, não diferenciando-se do tratamento com +Mo.

Quando analisados os resultados do nutriente fósforo em plantas cultivadas em solo de xisto, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Já para plantas cultivadas em solo de granito, o tratamento que se destaca com a maior média é o CN, não se diferenciando dos tratamentos +P e CaMg.

Potássio para plantas cultivadas em solo de Xisto a maior média é encontrada no tratamento CP, não diferenciando-se dos tratamentos CN, CaMg e +Mo. Para as plantas cultivadas em solo de granito a maior média observada foi no tratamento CaMg, não diferenciando-se dos tratamentos CN, +P e +Mo.

Analisando o nutriente cálcio para as plantas cultivadas em solo de xisto, a maior média obtida foi no tratamento CP, não se diferenciando de CaMg. Já para plantas cultivadas em solo de granito, o tratamento de CaMg apresentou a maior média, e não apresentou diferença do tratamento CP. O magnésio nas raízes das plantas cultivadas em solo de xisto, manteve-se similar entre todos os tratamentos, sem diferenças significativas. Já para as plantas cultivadas em solo de granito a maior média foi observada no tratamento CP, diferenciando-se apenas do tratamento +P.

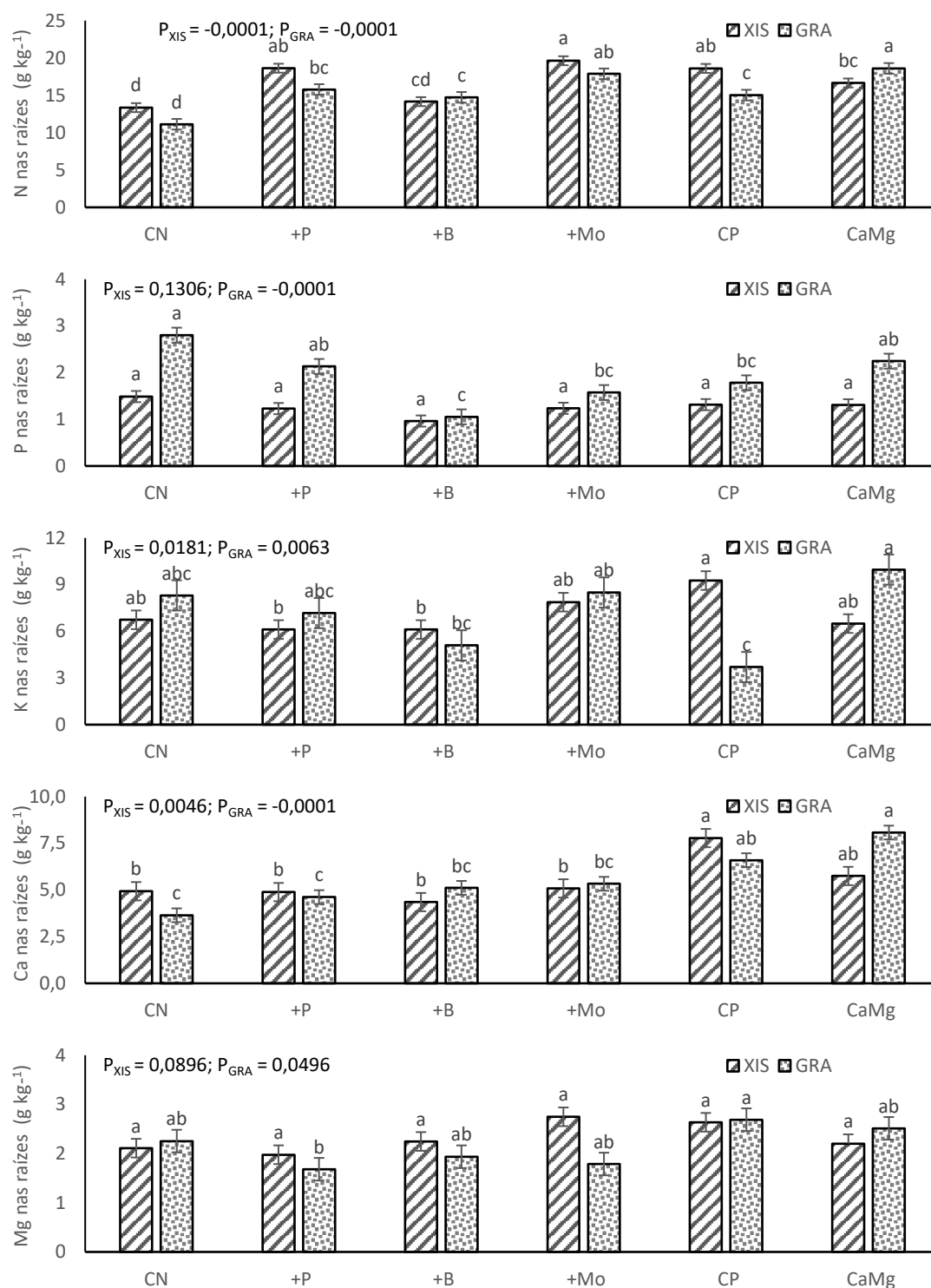


Figura 12: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas raízes da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.

5.6 Concentração de micronutrientes nas raízes

A figura 13 apresenta a concentração de micronutrientes das raízes para cada solo em função dos tratamentos. Analisando o nutriente boro, nas plantas cultivadas em solo de xisto, o tratamento que apresentou maior média é CaMg diferenciando-se de todos os demais tratamentos. Para plantas produzidas em solo de granito, o tratamento que se destaca é CP, diferenciando-se dos demais tratamentos.

No caso do ferro, para as plantas cultivadas em solo de xisto não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, com base na probabilidade de 5%. Para plantas cultivadas em solo de granito, o tratamento que obteve maior média foi +P, diferenciando-se apenas do tratamento +Mo.

No nutriente manganês, para as plantas cultivadas em solo de xisto, destaca-se o tratamento +B com a maior média, porém, não diferenciando-se do tratamento +Mo. Quanto às plantas cultivadas em solo de granito, também se observa a maior média no tratamento +B, diferenciando-se significativamente apenas do tratamento CaMg.

No caso do zinco para as plantas produzidas em solo de xisto, a maior média é encontrada no tratamento +Mo, não diferenciando-se dos tratamentos CN, +P e +B. Já para as plantas cultivadas em solo de granito, a maior média com grande diferença é encontrada no tratamento CN.

O cobre nas raízes das plantas produzidas em solo de xisto apresentando a maior média no tratamento CN, diferenciando-se apenas do tratamento +P. A respeito das plantas cultivadas em solo de granito, a maior média é também encontrada no tratamento CN, porém, diferenciando-se de todos os demais tratamentos.

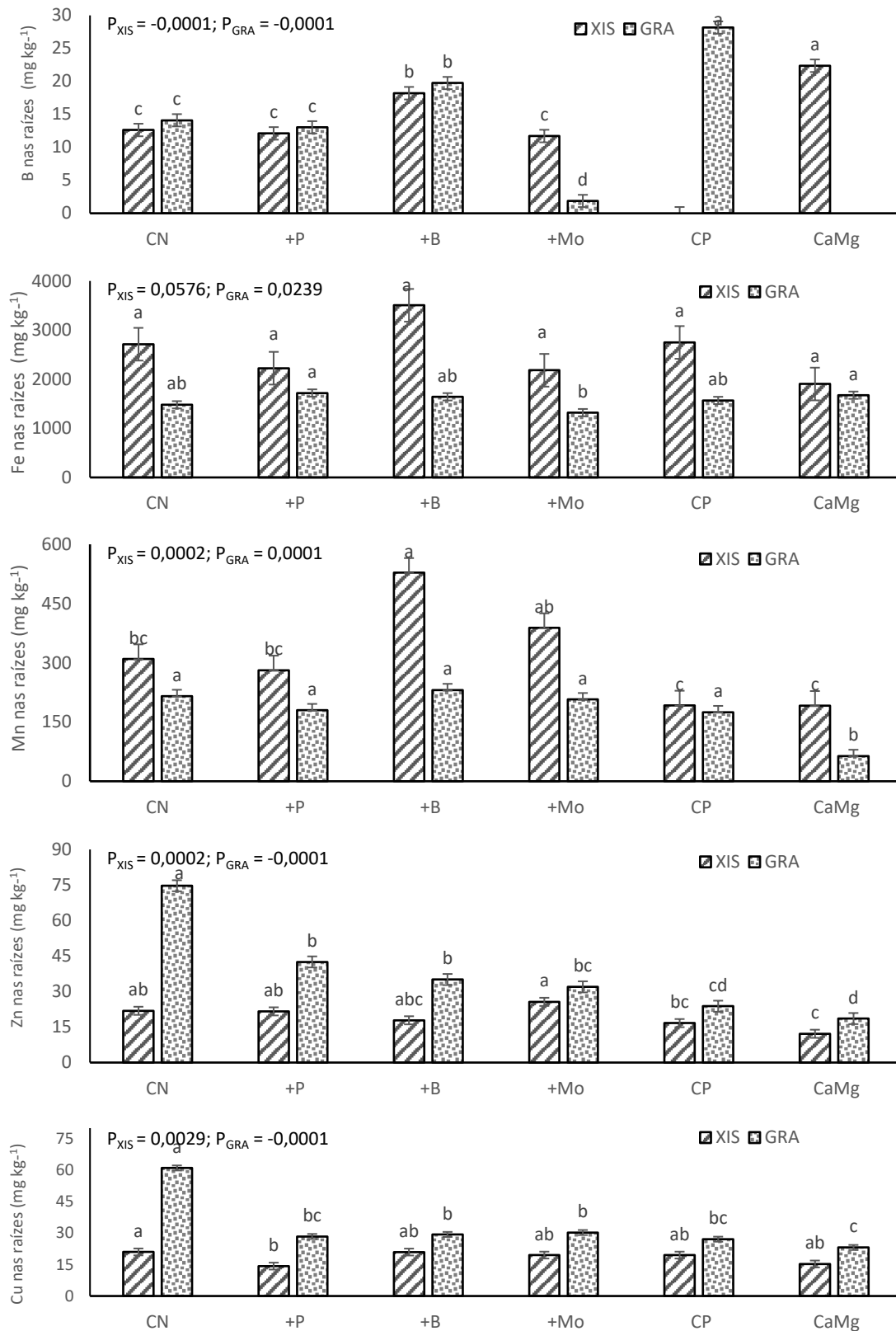


Figura 13: Concentração de boro (b), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) nas raízes da variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias

5.7 Concentração de alumínio nas raízes

A figura 14 apresenta a concentração de alumínio das raízes para cada solo em função dos tratamentos fertilizantes. A maior média obtida para plantas cultivadas em solo de xisto foi no tratamento +Mo, não se diferenciando estatisticamente dos tratamentos +B e CN. Para plantas cultivadas em solo do tipo granito a maior média de concentração de alumínio nas raízes foi encontrada no tratamento CaMg, diferenciando-se de todos os demais tratamentos.

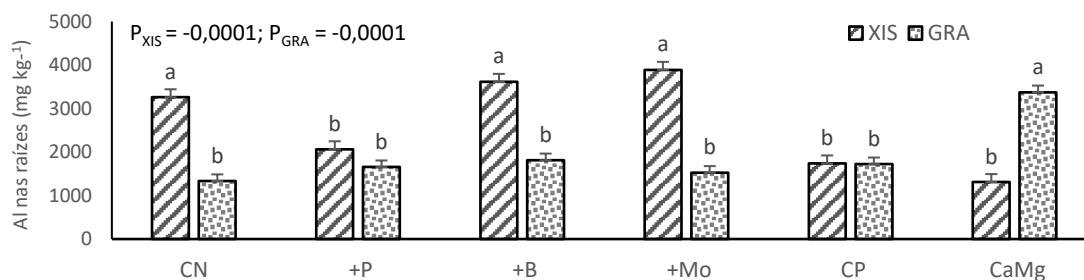


Figura 14: Concentração de alumínio (Al) nas raízes na variedade Cobrançosa (COB) para solos de xisto (XIS) e granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdénio (+Mo), controlo positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Para cada variedade, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão das médias.

5.8 Propriedades dos solos

As propriedades do solo de xisto cultivado com Cobrançosa em função dos tratamentos fertilizantes são apresentadas na tabela 2. Quanto ao carbono orgânico as médias obtidas não se diferenciaram significativamente entre tratamentos. Em relação a acidez do solo, a medição de pH tanto em H₂O quanto em KCl, apresentou a maior média no tratamento CP, sendo superior e diferenciando-se dos demais.

Os valores de fósforo foram significativamente mais elevados no tratamento CaMg, mesmo quando comparados aos tratamentos que receberam fósforo. Quanto aos valores de potássio foram mais elevados no tratamento CP e mais baixos no tratamento CN.

Em relação ao complexo de troca foram analisados diferentes elementos, como cálcio, magnésio, potássio, sódio, acidez de troca, alumínio e CTC. Os dados do cálcio apresentaram maior média no tratamento CaMg. O magnésio apresentou diferenças significativas entre tratamentos, com valores mais elevados e mais baixos em CN e CP, respetivamente. O potássio de troca foi mais elevado no tratamento CP e com diferenças significativas para muitos dos outros tratamentos. Em relação ao sódio, acidez e alumínio de troca, não se observaram diferenças significativas entre tratamentos. Os resultados da CTC foram mais elevados no tratamento CaMg, se diferenciando de todos os demais.

Para o boro, a maior média obtida entre os tratamentos, foi no tratamento CaMg, diferenciando-se dos demais. O ferro apresentou médias semelhantes entre os tratamentos, tendo como menor média o CN, os demais tratamentos não se diferiram entre si. O cobre apresentou grande variabilidade entre as médias obtidas, destacando-se o tratamento CP, não se diferenciando dos tratamentos CN e +B. Com enfoque, o elemento manganês, a principal média dentre os tratamentos é encontrada em CP, diferenciando-se significativamente apenas do tratamento +B. O tratamento que apresentou média amplamente superior nos teores de alumínio foi +Mo, porém não se diferenciando significativamente dos tratamentos +B e CaMg.

O carbono orgânico e o zinco, não apresentaram diferenças significativas dentre as médias obtidas, a 5% de probabilidade.

Tabela 2: Propriedades do solo de xisto (XIS) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

	CN	+P	+B	+Mo	CP	CaMg
¹ Carbono orgânico (mg kg ⁻¹)	9,60 a	8,96 a	8,73 a	9,22 a	8,82 a	9,25 a
² pH (H ₂ O)	6,02 c	5,82 d	5,80 d	5,87 d	7,75 a	7,52 b
² pH (KCl)	5,07 c	5,07 c	5,00 c	5,07 c	8,01 a	7,69 b
³ Fósforo (mg kg ⁻¹ , P ₂ O ₅)	31,00 c	70,00 b	31,00 c	36,00 c	73,00 b	102,00 a
³ Potássio (mg kg ⁻¹ , K ₂ O)	71,00 d	92,00 c	102,00 bc	106,00 bc	136,00 a	105,00 b
⁴ Cálcio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	4,39 c	3,96 c	3,74 c	3,90 c	7,38 b	8,33 a
⁴ Magnésio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	2,50 a	2,35 ab	2,29 ab	2,35 ab	1,97 b	2,25 ab
⁴ Potássio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,19 b	0,16 b	0,16 bc	0,20 ab	0,25 a	0,17 b
⁴ Sódio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,26 a	0,28 a	0,25 a	0,29 a	0,35 a	0,35 a
⁴ Acidez de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,23 a	0,30 a	0,27 a	0,23 a	0,27 a	0,27 a
⁵ Alumínio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,17 a	0,17 a	0,17 a	0,13 a	0,17 a	0,17 a
⁶ CTC (cmol _c kg ⁻¹)	7,58 c	7,05 c	6,71 c	6,97 c	10,21 b	11,36 a
⁷ Boro (mg kg ⁻¹)	0,19 c	0,24 c	0,70 b	0,19 c	0,41 c	1,24 a
⁸ Ferro (mg kg ⁻¹)	22,14 b	39,11 ab	39,64 ab	40,06 a	28,10 ab	28,01 ab
⁸ Zinco (mg kg ⁻¹)	0,75 a	0,78 a	0,58 a	0,64 a	0,75 a	0,60 a
⁸ Cobre (mg kg ⁻¹)	0,33 ab	0,08 c	0,34 ab	0,08 c	0,44 a	0,20 bc
⁸ Manganês (mg kg ⁻¹)	29,97 ab	36,04 ab	28,19 b	34,92 ab	47,07 a	38,94 ab
⁸ Alumínio (mg kg ⁻¹)	40,39 b	42,32 b	43,09 ab	75,51 a	31,02 b	46,26 ab

¹Walkley-Black; ²Potenciometria; ³Lactato de amônio; ⁴Acetato de amônio e EDTA; ⁵Cloreto de potássio;

⁶Capacidade de troca catiônica; ⁷Água fervente, azometina-H; ⁸Espetrofotometria de absorção atômica.

As propriedades do solo de granito após o fim do experimento em função dos tratamentos fertilizantes são apresentadas na tabela 3. Para o carbono orgânico, observa-se que não ocorreram diferenças significativas entre tratamentos. Em relação a acidez do solo, a medição de pH tanto em H₂O quanto em KCl, apresentou maiores médias no tratamento CP, sendo significativamente mais elevadas que os dos demais tratamentos.

Observando os dados apresentados para o fósforo, a média mais elevada é obtida no tratamento CP, diferindo significativamente de todos os tratamentos com exceção de CaMg.

Quanto ao potássio a maior média é encontrada no tratamento CaMg, porém não se diferenciou significativamente da dos tratamentos +Mo e +P.

No complexo de troca foram diferentes elementos analisados, como cálcio, magnésio, potássio, sódio, acidez de troca, alumínio e CTC. O cálcio apresentou valores mais elevados nos tratamentos CP e CaMg, com diferenças significativas para os restantes. Também para o magnésio, as médias diferiram significativamente entre tratamentos, sendo os valores mais elevados obtidos no tratamento CP. Para o potássio de troca a média mais elevada foi registrada no tratamento CaMg e a mais baixa no tratamento CN. Quanto ao sódio, não são encontradas diferenças significativas entre os tratamentos. Na análise de acidez de troca e do alumínio de troca, registraram-se valores mais elevados no tratamento CaMg. No caso da CTC foram obtidos valores elevados em CP e CaMg e significativamente mais baixos nos demais tratamentos.

Para o boro e ferro ambos obtiveram a média elevada no tratamento CP, com diferenças significativas para muitos dos demais tratamentos.

Zinco e cobre não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

O elemento manganês apresentou a média mais elevada no tratamento CaMg, diferindo dos demais tratamentos. Já o alumínio demonstrou sua maior média no tratamento CP, mas não diferindo estatisticamente do tratamento CaMg.

Tabela 3: Propriedades do solo de Granito (GRA) em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

	CN	+P	+B	+Mo	CP	CaMg
¹ Carbono orgânico (mg kg ⁻¹)	2,00 a	1,89 a	2,24 a	2,01 a	2,03 a	1,89 a
² pH (H ₂ O)	5,80 c	5,82 c	5,80 c	5,87 c	7,75 a	7,52 b
² pH (KCl)	4,91 d	5,07 c	5,00 cd	5,07 c	8,01 a	7,69 b
³ Fósforo (mg kg ⁻¹ , P ₂ O ₅)	71,09 c	108,06 b	64,72 c	61,75 c	124,80 a	110,11 ab
³ Potássio (mg kg ⁻¹ , K ₂ O)	53,00 d	73,00 abc	62,33 cd	80,33 ab	69,33 bc	82,67 a
⁴ Cálcio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	3,25 c	3,53 bc	3,76 b	3,69 bc	7,00 a	6,77 a
⁴ Magnésio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	1,80 bc	2,10 ab	2,19 a	2,07 ab	2,20 a	1,69 c
⁴ Potássio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,11 c	0,14 abc	0,12 bc	0,15 ab	0,12 b	0,17 a
⁴ Sódio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,23 a	0,29 a	0,30 a	0,26 a	0,27 a	0,26 a
⁴ Acidez de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,23 b	0,20 b	0,30 b	0,33 ab	0,47 ab	0,60 a
⁵ Alumínio de troca (cmol _c kg ⁻¹)	0,10 b	0,07 b	0,20 ab	0,13 b	0,37 ab	0,50 a
⁶ CTC (cmol _c kg ⁻¹)	5,62 c	6,25 bc	6,66 b	6,50 bc	9,96 a	9,49 a
⁷ Boro (mg kg ⁻¹)	0,96 ab	0,80 b	0,75 b	1,01 b	1,50 a	1,19 ab
⁸ Ferro (mg kg ⁻¹)	14,98 bc	17,89 ab	13,91 c	16,38 bc	21,38 a	20,09 a
⁸ Zinco (mg kg ⁻¹)	0,59 a	0,81 a	0,62 a	0,57 a	0,71 a	0,73 a
⁸ Cobre (mg kg ⁻¹)	0,29 a	0,17 a	0,07 a	0,18 a	0,27 a	0,93 a
⁸ Manganês (mg kg ⁻¹)	4,36 bc	4,95 bc	3,84 c	3,89 c	5,17 b	7,59 a
⁸ Alumínio (mg kg ⁻¹)	22,48 c	26,67 bc	21,79 c	25,66 bc	32,97 a	28,90 ab

¹Walkley-Black; ²Potenciometria; ³Lactato de amônio; ⁴Acetato de amônio e EDTA; ⁵Cloreto de potássio;

⁶Capacidade de troca catiônica; ⁷Água fervente, azometina-H; ⁸Espectrofotometria de absorção atômica.

5.9 Produção de matéria seca

A produção de matéria seca obtida no solo de xisto em função dos tratamentos fertilizantes é apresentada na tabela 4. No caso dos caules, registaram-se diferenças significativas entre tratamentos, com os valores mais elevados e mais baixos nos tratamentos +Mo e CaMg, respetivamente.

Para folhas as médias foram mais elevadas no tratamento +B, mantendo-se as mais baixas e com diferenças significativas no tratamento CaMg.

Quanto as raízes mantiveram-se o padrão de valores mais baixos no tratamento CaMg, não havendo diferenças significativas entre os demais tratamentos.

Ao analisar os resultados da matéria seca total, observa-se que a maior média é obtida no tratamento +B (57,32 g planta⁻¹) não diferindo dos tratamentos +Mo (45,42 g planta⁻¹) e CP (53,87 g planta⁻¹). As menores médias são observadas nos tratamentos CaMg (25,45 g planta⁻¹), +P (44,16 g planta⁻¹) e CN (40,01 g planta⁻¹).

Tabela 4: Matéria seca dos tecidos cultivado em solo de xisto em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdénio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

	CN	+P	+B	+Mo	CP	CaMg
Caule (g planta ⁻¹)	15,55 ab	18,48 ab	21,00 ab	21,36 a	18,72 ab	12,61 b
Folha (g planta ⁻¹)	18,25 b	20,80 ab	24,58 a	19,62 ab	23,68 ab	12,06 c
Raíz (g planta ⁻¹)	6,21 a	4,89 a	7,50 a	4,44 a	4,08 ab	0,79 b
Total (g planta ⁻¹)	40,01 c	44,16 bc	57,32 a	45,42 abc	53,87 ab	25,45 d

A produção de matéria seca solo de granito em função dos tratamentos é apresentada na tabela 5. Quanto aos caules, +B e CP apresentaram os valores médios mais elevados e significativamente diferentes da média do tratamento CN.

As folhas apresentaram a maior média no tratamento +B, seguido por CP os quais diferiram significativamente dos tratamentos CN, +P, +Mo e CaMg.

Para as raízes registrou-se o valor médio mais elevado no tratamento +P e o mais baixo no tratamento CaMg.

Quando analisados os resultados totais da produção de matéria seca, destacam-se como as melhores médias os tratamentos +B (40,39 g planta⁻¹) e CP (40,19 g g planta⁻¹) diferindo significativamente dos tratamentos CN (15,20 g planta⁻¹), +P (26,84 g g planta⁻¹), +Mo (23,96 g g planta⁻¹) e CaMg (15,75 g planta⁻¹).

Tabela 5: Matéria seca dos tecidos cultivado em solo de granito em função dos tratamentos fertilizantes, controle negativo (CN), aplicação de fósforo (+P), boro (+B), molibdênio (+Mo), controle positivo (CP) e aplicação de cálcio e magnésio (CaMg). Nas linhas, letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

	CN	+P	+B	+Mo	CP	CaMg
Caule (g planta ⁻¹)	5,78 b	12,72 ab	14,97 a	11,47 ab	14,16 a	7,60 ab
Folha (g planta ⁻¹)	6,01 b	9,98 b	14,46 a	9,99 b	17,77 a	7,76 b
Raíz (g planta ⁻¹)	3,42 ab	4,14 a	3,82 ab	1,83 bc	3,74 ab	0,39 c
Total (g planta ⁻¹)	15,20 c	26,84 b	40,39 a	23,96 bc	40,19 a	15,75 c

6 Discussão

Ao analisarmos os tratamentos onde foi aplicado fósforo (+P e CP) é possível observar redução na concentração dos nutrientes, incluindo o próprio fósforo nas plantas da cultivar Cobrançosa. É de conhecimento geral que os solos da região norte de Portugal apresentam, em sua maioria, baixos teores de fósforo quando o nutriente é extraído pelo método Egner-Riehm, tem sido difícil encontrar resposta à aplicação do nutriente, mesmo em ensaios utilizando vasos (AFONSO et al., 2018).

Contudo, observa-se aumento do fósforo disponível dos solos tanto de xisto como de granito, indicando a possibilidade de haver fatores físicos ou químicos que estão dificultando a absorção do fósforo pelas plantas. Uma das opções é a imobilização do fósforo pelo alumínio o qual se adsorve a molécula do nutriente, impedindo sua absorção.

Observando os dados obtidos através dos tratamentos com aplicação de boro (+B e CP) é possível observar que o mesmo não influenciou a concentração de macronutrientes presente nos tecidos das plantas. Teve sim respostas positivas, tanto para os tecidos (folhas, caules e raízes) quanto para os dois solos (xisto e granito), agregando na concentração e disponibilidade do nutriente. Santos (2015) deixa claro a importância do micronutriente boro e reforça que o mesmo é o micronutriente mais escasso nos solos portugueses.

Quanto aos tratamentos com aplicação de molibdênio (+Mo e CP) parece haver pouca influência na concentração dos nutrientes tanto para os tecidos (folhas, caules e raízes) quanto para os dois solos (xisto e granito). Segundo Martens e Westermann (1991) o molibdênio é considerado um elemento essencial para as plantas, pois está diretamente ligado a questões fisiológicas, atuando na redução do nitrato em nitrito no citoplasma, influenciando no crescimento vegetativo da planta.

Em relação ao tratamento CP, onde foram aportados todos os nutrientes ocorreram efeitos positivos de aumento na concentração dos mesmos, como cálcio e boro nos tecidos das raízes e folhas e também apresentou tendência superior ao tratamento CN para a concentração do nitrogênio nos tecidos das plantas. É possível observar efeitos positivos quando analisados o tratamento sobre os solos (xisto e granito), havendo aumento na concentração de nutrientes como fósforo, cálcio e boro.

Sabendo que o cálcio e magnésio são nutrientes amplamente utilizados no meio agrícola a décadas, os benefícios dos mesmos são de conhecimento geral. Foi possível observar com os resultados do experimento aumento significativo da concentração de cálcio nas folhas das plantas em contraponto a esse efeito observa-se a diminuição de manganês nas folhas, caules e

raízes e também a redução da concentração de alumínio nas raízes. Para este efeito nas raízes sabe-se que o cálcio atua como neutralizante para os elementos, manganês e alumínio, que quando encontrados em grandes quantidades são considerados tóxicos para as plantas.

Quanto aos efeitos causados nos solos, é possível observar aumento do pH e capacidade de troca catiônica esse fator ocorre devido ao aumento das bases do solo principalmente cálcio e magnésio, elevando o pH do solo, colocando o mesmo em valores médios de 5 aumentasse a eficácia de absorção da grande maioria dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta, como exemplificado na figura 2. Também é possível observar aumento na concentração de fósforo presente nos solos, corroborando com a tese da eficiência na neutralização do alumínio pelo cálcio. Arrobas et al. (2018) afirmam sobre a particular necessidade da aplicação de cálcio e magnésio devido aos solos da região norte de Portugal apresentarem tendencialmente solos ácidos.

Em relação ao tratamento CN, onde não foram utilizadas aplicações fertilizantes, observou-se uma tendência por apresentar valores de nitrogênio nos tecidos (folhas, caules e raízes) mais baixos bem como diferenças significativas dos tratamentos fertilizantes. Efeito o qual já era esperado, pois os solos utilizados não possuem grande fertilidade natural e matéria orgânica.

7 Conclusão

Pode-se concluir que a aplicação de fósforo (+P) apresentou pouca influência na concentração de nutrientes nas plantas, tanto do próprio fósforo quanto dos demais nutrientes analisados. A imobilização do fósforo pelo alumínio pode estar dificultando sua absorção através do sistema radicular da planta pois é observado aumento nos teores de fósforo no solo.

Por outro lado, a adubação com boro (+B) resultou em significativo aumento da concentração desse nutriente tanto nas plantas quanto no solo, sendo o boro considerado escasso nos solos portugueses e de extrema importância para a fisiologia das plantas, atuando com enfoque no estágio reprodutivo.

No tratamento CP, em que todos os nutrientes foram aplicados, houve aumento na concentração de cálcio, boro e nitrogênio nas plantas, bem como melhorias na química do solo, como aumento do pH e da capacidade de troca catiônica. Demonstrando a eficácia do correto manejo nutricional do solo, mantendo o balanço e seguindo as leis de Liebig.

O cálcio e o magnésio desempenham um papel importante na neutralização de elementos tóxicos, como o manganês e o alumínio, nas plantas. Além disso, houve aumento da concentração de fósforo no solo e melhoria das características do solo, especialmente em relação à acidez. Em resumo, a aplicação adequada de fertilizantes, considerando a interação entre os nutrientes e as características do solo, pode melhorar a disponibilidade de nutrientes para as plantas e promover um crescimento saudável das oliveiras.

8 Referências

AFONSO, D. I. B. Monitorização da aplicação de adubos líquidos num olival no Baixo Alentejo e o impacto na evolução de nutrientes na seiva. masterThesis, Beja, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ipbeja.pt/handle/20.500.12207/5401>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

AFONSO, S.; ARROBAS, M.; FERREIRA, I.Q.; *et al.* Leaf nutrient concentration standards for lemon verbena (*Aloysia citrodora* Paláu) obtained from field and pot fertilization experiments. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, v. 8, p. 33–40, 2018. ISSN: 2214-7861 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214786117304746>>. Acesso em: 02 Dez. 2022.

ALCARDE, J. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. n. 6, p. 24, 2005. Disponível em: <http://anda.org.br/wp-content/uploads/2019/03/boletim_06.pdf>. Acesso em: 19 out. 2022.

ARROBAS, M.; AFONSO, S.; FERREIRA, I.; *et al.* Liming and application of nitrogen, phosphorus, potassium, and boron on a young plantation of chestnut. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, v. 41, n. 6, p. 441–451, 2017. ISSN: 1300-011X Disponível em: <<https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol41/iss6/3>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

ARROBAS, M.; AFONSO, S.; RODRIGUES, M.Â. Diagnosing the nutritional condition of chestnut groves by soil and leaf analyses. *Scientia Horticulturae*, v. 228, p. 113–121, 2018. ISSN: 0304-4238, DOI: 10.1016/j.scienta.2017.10.027. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030442381730643X>>. Acesso em: 17 fev. 2023.

ARROBAS, M.; RIBEIRO, A.; BARREALES, D.; *et al.* Soil and foliar nitrogen and boron fertilization of almond trees grown under rainfed conditions. *European Journal of Agronomy*, v. 106, p. 39–48, 2019. ISSN: 1161-0301, DOI: 10.1016/j.eja.2019.02.014 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030119300218>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BRAGA, G.N.M. O pH do Solo e a Disponibilidade de Nutrientes. 2012. Disponível em: <<https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2012/01/o-ph-do-solo-e-disponibilidade-de.html>>. Acesso em: 9 jan. 2023.

BREMNER, J. M. Nitrogen Total. *In: Methods of Soil Analysis*. John Wiley & Sons, 1996, p. 1085–1121. ISBN: 978-0-89118-866-7 Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssabookser5.3.c37>>. Acesso em: 5 dez. 2022.

CAIRES, E.F. Calagem e uso de gesso em Sistema Plantio Direto. p. 38–45, 2012. Disponível em: <<https://plantiodireto.com.br/storage/files/128/9.pdf>>. Acesso em: 24 jan. 2023.

CALOURO, F.; VELOSO, A.; SEMPITERNO, C. Manual Fertilização das culturas. Oeiras: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, 2022, e. 3. p. 01–468. ISBN: 978-972-579-063-2 Disponível em: <<https://www.inia.pt/divulgacao/publicacoes-bd/manual-fertilizacao-das-culturas>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

CAMARGOS, S. Acidez do solo e calagem (reação do solo). Cuiabá, 2005. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Apostila_Capitulo_2_Acidez_Calagem.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2023.

CORRÊA, M.J.P.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M.I.; ARNAL, A.O. Caracterización histoquímica de la etapa temprana del desarrollo del fruto del olivo (*Olea europaea* L.). *Acta Botanica Brasilica*, v. 16, p. 77–82, 2002. DOI: 10.1590/S0102-33062002000100009 Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/abb/a/4NgCQW7pNQjXGvxfGZSFvNH/?lang=es>>. Acesso em: 15 jan. 2023.

CRUZ, J.M.B. Análise produtiva e económica de um adensamento de olival da variedade Cobrançosa. masterThesis, ISA, Lisboa, 2019. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/21287>>. Acesso em: 4 jan. 2023.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M.S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. *Scientia Agricola*, v. 58, p. 825–831, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sa/a/9bFmGbJWkY6QsHgRHWgMxvg/?lang=pt>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

FAO. Productions Indices. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QI>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FERREIRA, I.Q.; RODRIGUES, M.Â.; MOUTINHO-PEREIRA, J.M.; *et al.* Olive tree response to applied phosphorus in field and pot experiments. *Scientia Horticulturae*, v. 234, p. 236–244,

2018. ISSN: 0304-4238, DOI: 10.1016/j.scienta.2018.02.050 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423818301250>>. Acesso em: 15 jan. 2023

SPOSITO, G. The Chemistry of Soils. 2. ed. New York: Oxford University Press Inc., 2009. ISBN: 9780190630881 Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=XCJnDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=sposito+2008+chemistry+of+soils&ots=iHsbg_D_3B&sig=i7BZAAOUcogspc-BWkM21kwdXuQ#v=onepage&q=sposito%202008%20chemistry%20of%20soils&f=false>. Acesso em: 15 out. 2022.

HOUBA, V.J.G. Soil and plant analysis: a series of syllabi. 4. ed. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1989. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/pt/title/soil-and-plant-analysis-a-series-of-syllabi/oclc/69439747>>. Acesso em: 16 nov. 2022.

LAKANEN, E.; ERVIÖ, R. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils.1971. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/A-comparison-of-eight-extractants-for-the-of-plant-Lakanen-Ervi%C3%B6/6ee9935a40899900476e36e2c49013df9826ef2b>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

MAIA, F.B. Contribuição para o estudo da fenologia de quatro variedades de oliveira (*Olea europaea* L.): Arbequina, Cobrançosa, Galega vulgar e Picual. masterThesis, ISA, Lisboa, 2010. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/15199>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

MARTENS, D. C.; WESTERMANN, D. T. Fertilizer Applications for Correcting Micronutrient Deficiencies. *In*: MORTVEDT, J. J. (Org.). SSSA Book Series. Madison, WI, USA, 2018, p. 549–592. ISBN: 978-0-89118-878-0/978-0-89118-797-4 Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.2136/sssabookser4.2ed.c15>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

MENEZES, G. Análise do Clima Urbano da Cidade de Bragança (2012-2016): Estudo da Ilha de Calor. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2017. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/14438/1/Menezes_Gabriella.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

PAUL, E.A. Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry: An Exciting Present and Great Future Built on Basic Knowledge and Unifying Concepts. *In*: Soil Microbiology, Ecology and

Biochemistry. 4. ed. Boston: Academic Press, 2015, p. 1–14. ISBN: 978-0-12-415955-6 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124159556000013>>. Acesso em: 24 jan. 2022.

REIS, P. O Olival em Portugal - Dinâmicas, tecnologias e relação com o desenvolvimento rural. *In*: Instituto Nacional de Investigações Agrárias e Veterinárias. Lisboa: Animar, 2014, p. 01–37. ISBN: 978-989-8748-06-5 Disponível em: <<https://www.inia.pt/divulgacao/publicacoes-bd/olival-portugal-dinamicas-tecnologias>>. Acesso em: 29 jan. 2023.

REISSER JÚNIOR, C.; COUTINHO, E.F.; ALMEIDA, I.R. Cultivo de oliveira (*Olea europaea* L.). p. 1–122, 2009. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/simple-search?query=Cultivo+de+Oliveira+%28Olea+europaea+L.%29>>. Acesso em: 23 dez. 2022.

RODRIGUES, M. A.; ARROBAS, M. Principais problemas nutricionais dos olivais transmontanos e que quantidades de fertilizantes aplicar. Boletim Técnico OlivaTMAD, n. 2, p. 1–4, 2013. ISSN: 2182-2778. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/10166>> Acesso em: 18 dez. 2022.

RODRIGUES, M. A.; CORREIA, C.M. Manual da safra e contra safra do olival. Manual da safra e contra safra do olival, 2009. ISSN: 978-972-745-103-6 Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/4191>>. Acesso em: 18 dez. 2022.

RODRIGUES, M. A.; FERREIRA, I.Q.; CLARO, A.M.; *et al.* Fertiliser recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. *Scientia Horticulturae*, v. 142, p. 205–211, 2012. ISSN: 0304-4238 Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/7908>. Acesso em: 06 jan. 2023.

RODRIGUES, M. A.; PAVÃO, F.; LOPES, J.; *et al.* Olive yields and tree nutritional status during a four year period without nitrogen and boron fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, n. 7, p. 803–814, 2011. ISSN: 0010-3624, DOI: 10.1080/00103624.2011.552656 Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/6227>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

RODRIGUES, M.Â.; COELHO, V.; ARROBAS, M.; *et al.* The effect of nitrogen fertilization on the incidence of olive fruit fly, olive leaf spot and olive anthracnose in two olive cultivars grown in rainfed conditions. *Scientia Horticulturae*, v. 256, p. 1–9, 2019. ISSN: 0304-4238, DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108658 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423819305448>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

SANTOS, J.Q. Fertilização - Fundamentos Da Utilização de Adubos e Corretivos. Porto: Publindústria, 2015. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/506090518/Joaquim-Quelhas-Dos-Santos-Fertilizacao-Fundamentos-Da-Utilizacao-de-Adubos-e-Corretivos-1-Publindustria-2015>>. Acesso em: 8 jan. 2022.

SILVA, R.; PEREIRA DA COSTA, D.; EHRLICH, M. Movimentação de rastejo e proposta de estabilização de um depósito de solo residual de filito. Salvador. ABMS, 2018, p. 1–10. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335189715_Movimentacao_de_rastejo_e_proposta_de_estabilizacao_de_um_deposito_de_solo_residual_de_filito>. Acesso em: 13 jan. 2023.

SOUSA, L.M.O.; CARVALHO, J.; PITA, P.; *et al.* Granitos ornamentais do Norte de Portugal: características, potencialidades e constrangimentos. Boletim de Minas, v. 54, p. 11–29, 2020. ISSN: 0008-5935. Disponível em: <<https://repositorio.Ineg.pt/handle/10400.9/3554>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

TAPIA, F.; ASTORGA, M.; IBACACHE, A.; *et al.* Manual del cultivo del olivo. p. 101–128, 2003. ISSN: 0717-4829 Disponível em: <<https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6961>>. Acesso em: 22 jan. 2023.

VAN REEUWIJK, L.P. Procedures for soil analysis. v. 9, n. 6, p. 1–120, 2002. Disponível em <https://www.isric.org/sites/default/files/ISRIC_TechPap09.pdf>. Acesso em 20 nov. 2022.