



# **Resposta do castanheiro à aplicação de fertilizantes ao solo**

**Eduardo João Vasques Azevedo**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para  
obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia*

**Orientado por**

**Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues**

**Coorientado por**

**Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues**

**Bragança**

**2014**



## **AGRADECIMENTOS**

Foram várias as pessoas que desde o início deste percurso me incentivaram e apoiaram e como tal não poderia deixar de expressar o meu reconhecimento a todas elas.

Em primeiro lugar quero deixar um especial agradecimento ao Professor Doutor Manuel Ângelo Rosa Rodrigues e à Professora Doutora Margarida Arrobas Pereira Rodrigues, meus orientadores, que foram incansáveis no desenvolvimento da tese, desde a escolha do tema até à sua conclusão, quer no apoio científico prestado, quer pela disponibilidade no esclarecimento de qualquer dúvida e incentivo dado.

Às técnicas do Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Bragança, à D. Rita e à D. Ana que foram imprescindíveis e possibilitaram a realização das análises laboratoriais.

À AAPIM, a minha entidade patronal, e aos meus colegas de trabalho, agradeço a disponibilidade e apoio prestado, a facultações de bibliografia e as sugestões ou até pequenas conversas que ajudaram principalmente para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso que, direta ou indiretamente, me apoiaram e acompanharam, agradeço a amizade, não só durante este ano, mas como em outros momentos e percursos igualmente importantes.

Por último, agradeço à minha família, em especial aos meus pais e irmão, pela ajuda e palavras de estímulo e condições que criaram para prosseguir a minha formação académica, à Joana pelo incansável apoio, incentivo e, principalmente, paciência e à Maria Antónia, pela ajuda prestada em diversos momentos.

A todos, os meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A cultura do castanheiro está a gerar um imenso entusiasmo na região, justificado pelo elevado valor que tem sido pago pela castanha. Nos últimos anos tem-se verificado uma conjuntura favorável que leva os produtores a investirem na cultura. Na área da fertilização, tem-se assistido a um grande incremento na aplicação de fertilizantes. Os produtores utilizam adubos clássicos de aplicação ao solo, mas também soluções menos comuns em culturas de sequeiro como as fertilizações foliares. O castanheiro é, contudo, uma cultura para a qual poucos estudos existem que possam auxiliar na definição de uma estratégia racional de fertilização. Na tentativa de se obter informação que possa reduzir a aleatoriedade com que se aplicam fertilizantes, foram instalados ensaios de campo na região de Bragança. Pretendeu-se avaliar a resposta da cultura à correção do pH e à ausência no plano de fertilização de cada um dos elementos azoto, fósforo, potássio ou boro. O ensaio foi instalado em junho de 2013 usando plantas recém-germinadas, com 10 a 15 cm de altura. Foi avaliado o estado nutricional das plantas através de métodos laboratoriais e de campo e medidas a altura e o diâmetro das plantas. A concentração dos nutrientes nas folhas revelou-se mais baixa em cada um dos tratamentos que tinham os nutrientes em falta no programa de fertilização. No caso do boro, as plantas do tratamento sem este nutriente apresentaram concentrações de boro nas folhas de 20,2 mg kg<sup>-1</sup> enquanto nas modalidades com aplicação de boro as concentrações variaram de 67,2 a 79,8 mg kg<sup>-1</sup>. A altura e o diâmetro das plantas foram menores no tratamento sem boro, o que, de momento, coloca o nutriente no centro das atenções.

Palavras-chave: *Castanea sativa*, azoto, fósforo, potássio, boro, calcário.

## ABSTRACT

The chestnut crop is creating a huge enthusiasm in the region, due to the high value that has been paid for the chestnut. During the last years a favourable sales situation has led the producers to invest in this crop. In the area of fertilization a great development of fertilizers application has been witnessed. The producers use conventional fertilizers and/or manures applied on the soil, but also less common technical solutions in dry farmed orchard such as foliar fertilizers. The chestnut tree is, however, a crop about which there are few studies that may help in the establishment of a rational fertilization strategy. Trying to get information that may reduce the randomness of the fertilization programmes, field trials were set up in the region of Bragança. It was intended to evaluate the crop response to the pH elevation and to the absence of each of the elements nitrogen, phosphorus, potassium or boron of the fertilization plan. The trial started in June 2013 using seedlings with 10 to 15 cm high. The nutritional status of the plants was evaluated through laboratory and field methods. Crop performance was assessed by measuring plant height and the diameter of the trunk. Leaf nutrient concentrations were lower in each treatment where the nutrient was not applied. Regarding boron, the plants treated without this nutrient revealed boron concentrations in the leaves of 20,2 mg kg<sup>-1</sup> while in the plants supplied with boron the concentrations of the nutrient varied from 67,2 to 79,8 mg kg<sup>-1</sup>. The height and the diameter of the plants were lower in the treatment without boron, which, at this moment, places this nutrient at the centre of attentions.

Key words: *Castanea sativa*, nitrogen, phosphorus, potassium, boron, limestone.

## ÍNDICE

1. O CASTANHEIRO.....	1
1.1. Aspectos botânicos e distribuição geográfica .....	1
1.1.1. Classificação botânica e morfologia.....	1
1.1.2. Origem e distribuição geográfica .....	2
2. FERTILIZAÇÃO MINERAL .....	4
2.1. Nutrição mineral das plantas .....	4
2.1.1. Azoto .....	6
2.1.2. Fósforo .....	7
2.1.3. Potássio .....	8
2.1.4. Boro .....	10
2.1.5. Calcário .....	11
2.2. Fertilização em castanheiros .....	11
2.2.1. Fertilização mineral .....	11
2.2.2. Aplicação de calcário.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Caracterização do clima e solo.....	14
3.2. Instalação do ensaio .....	15
3.2.1. Preparação do terreno .....	15
3.2.2. Delineamento experimental .....	16
3.2.3. Preparação das plantas e plantação .....	17
3.2.4. Manutenção do ensaio .....	17
3.2.5. Determinações de campo .....	18
3.3. Determinações laboratoriais .....	19
3.3.1. Análise de solos.....	19
3.3.2. Análise de tecidos vegetais .....	20
3.4. Análise estatística de dados.....	21

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Altura dos castanheiros .....	22
4.2. Diâmetro do tronco dos castanheiros.....	24
4.3. Lenha de poda .....	26
4.3.1. Biomassa da lenha de poda.....	26
4.3.2. Macronutrientes exportados na lenha de poda.....	27
4.3.2.1. Azoto exportado na lenha de poda.....	27
4.3.2.2. Fósforo exportado na lenha de poda .....	27
4.3.2.3. Potássio exportado na lenha de poda .....	28
4.3.2.4. Cálcio exportado na lenha de poda .....	29
4.3.2.5. Magnésio exportado na lenha de poda.....	29
4.3.3. Micronutrientes exportados na lenha de poda.....	30
4.3.3.1. Boro exportado na lenha de poda .....	30
4.3.3.2. Cobre, ferro, zinco e manganês exportados na lenha de poda.....	31
4.4. Concentração de nutrientes nas folhas.....	33
4.4.1. Concentração de macronutrientes nas folhas .....	33
4.4.1.1. Concentração de azoto nas folhas .....	33
4.4.1.2. Concentração de fósforo nas folhas .....	34
4.4.1.3. Concentração de potássio nas folhas.....	35
4.4.1.4. Concentração de cálcio nas folhas .....	36
4.4.1.5. Concentração de magnésio nas folhas.....	36
4.4.2. Concentração de micronutrientes nas folhas.....	37
4.4.2.1. Concentração de boro nas folhas .....	37
4.4.2.2. Concentração de cobre nas folhas.....	38
4.4.2.3. Concentração de ferro nas folhas .....	38
4.4.2.4. Concentração de zinco nas folhas .....	39
4.4.2.5. Concentração de manganês nas folhas .....	40

4.5. Teor de clorofila nas folhas.....	40
4.6. Índice de vegetação NDVI.....	41
5. CONCLUSÕES .....	42
6. BIBLIOGRAFIA .....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Valores da precipitação acumulada e temperatura média do ar mensal da normal climatológica 1971-2000.....	14
Figura 2. Média da altura de todos os castanheiros em março e setembro de 2014.....	23
Figura 3. Média da altura de 50% dos castanheiros mais altos em março e setembro de 2014.....	23
Figura 4. Média da altura de 25% dos castanheiros mais altos em março e setembro ...	24
Figura 5. Média do diâmetro do troco dos castanheiros medido a 10 cm de altura em setembro .....	25
Figura 6. Média do diâmetro do troco de 50% dos castanheiros mais grossos, medido a 10 cm de altura, em setembro .....	25
Figura 7. Média do diâmetro do tronco de 25% dos castanheiros mais grossos, medido a 10 cm de altura, em setembro.....	25
Figura 8. Matéria seca da lenha de poda distribuída por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	26
Figura 9. Azoto exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	27
Figura 10. Fósforo exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	28
Figura 11. Potássio exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	28
Figura 12. Cálcio exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	29
Figura 13. Magnésio exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	30
Figura 14. Boro exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	31
Figura 15. Cobre exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	32
Figura 16. Ferro exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	32
Figura 17. Zinco exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	32

Figura 18. Manganês exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes. ....	33
Figura 19. Concentração de azoto nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	34
Figura 20. Concentração de fósforo nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	34
Figura 21. Concentração de potássio nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	35
Figura 22. Concentração de cálcio nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	36
Figura 23. Concentração de magnésio nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	37
Figura 24. Concentração de boro nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	37
Figura 25. Concentração de cobre nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	38
Figura 26. Concentração de ferro nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	39
Figura 27. Concentração de zinco nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	39
Figura 28. Concentração de manganês nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014. ....	40
Figura 29. Estimativas do teor de clorofila nas folhas medidas com o aparelho portátil SPAD-502 Plus em maio, junho e agosto de 2014. ....	41
Figura 30. Índice de vegetação NDVI determinado com o aparelho portátil FieldScout CM 1000 em maio, junho e agosto de 2014. ....	41

## **ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1. Algumas características físico-químicas do solo antes da instalação do ensaio .....	15
Quadro 2. Tratamentos fertilizantes de cada uma das linhas de plantas .....	16

## **1. O CASTANHEIRO**

### **1.1. Aspetos botânicos e distribuição geográfica**

#### **1.1.1. Classificação botânica e morfologia**

O castanheiro (*Castanea sativa* Mill., designado inicialmente por Lineu como *Fagus castanea*) é uma árvore pertencente à família Fagaceae. A família Fagaceae divide-se em três subfamílias, designadamente Fagoideae, Quercoideae e Castanoideae (na qual se inclui a espécie *C. sativa*). De acordo com Paiva (2007), o castanheiro é uma árvore monóica, que pode atingir 30-35 m de altura. O tronco é robusto atingindo grande espessura, com ritidoma (casca) pardo-acinzentado e liso até aos 15-20 anos, tornando-se escuro e fendilhado a partir dessa idade. As folhas do castanheiro são grandes, de 8 a 25 cm de comprimento e 5 a 8 cm de largura. Apresentam forma serrada ou crenada-serrada na margem, com dentes agudos e ondulados. As folhas são de cor verde-escuro na página superior e verde-claro na inferior e com nervuras salientes. O pecíolo é de coloração verde ou vermelho e com nervuras paralelas. Possui flores masculinas e femininas, ambas na extremidade dos ramos, com perianto sepaloide, dispostas em amentilhos mais ou menos eretos, unissexuados ou androgénicos, verdes em botão e amarelados na antese. Os amentilhos masculinos são mais ou menos eretos e muito numerosos. As flores masculinas estão dispostas em glomérulos de 6-7 flores, mais ou menos afastados. As flores femininas apresentam-se reunidas em uma cúpula espinhosa verde, encontrando-se na base dos amentilhos. Estes contêm 6-9 estiletes estreitos e brancos rodeados de folhas verdes modificadas (brácteas). A floração, dependendo dos anos, pode começar em maio e prolongar-se até julho. As flores são muito odoríferas, pois o castanheiro é uma espécie polinizada por insetos, ou seja, entomófila. A maturação do fruto, a castanha, dá-se de outubro a dezembro. As castanhas são aquénios castanho-brilhante. Agrupam-se em número de um a três encerrados numa cúpula (inicialmente verde mas que com a maturação se vai tornando castanha), coberta de espinhos chamada de ouriço. A cúpula apresenta quatro valvas lobadas por onde são libertados as castanhas aquando da maturação.

### 1.1.2. Origem e distribuição geográfica

De acordo com Laranjo *et al.* (2009), o castanheiro teve a sua origem na China, há cerca de 35 milhões de anos. A sua dispersão foi conduzindo a uma adaptação a cada continente. O castanheiro encontra-se distribuído por todo o mundo estando presente nos continentes Europeu, Asiático, Americano e Oceânia, mesmo com as diferenças edafoclimáticas existentes entre eles. Na Ásia, especialmente na China e Coreia do Norte, a espécie que evoluiu foi classificada de *Castanea molissima*. Na Coreia do Sul e Japão a espécie que se instalou foi a *Castanea crenata*, que ficou conhecida como castanheiro japonês. Já na Europa o género *Castanea* evoluiu como *Castanea sativa* (que significa cultivado), ficando conhecida como castanheiro europeu. Na América do Norte a espécie evoluiu como *Castanea dentata*, ficando conhecida por castanheiro americano. As necessidades de cada espécie demonstraram especificidades próprias proporcionando uma adaptação a uma vasta diversidade de ecossistemas.

Ainda de acordo com Laranjo *et al.* (2009), o castanheiro em Portugal encontra-se nas zonas com condições climáticas continentais, ou seja, no interior. É cultivado em zonas altas, com altitudes entre os 600 m e os 1000 m. Como esta espécie está bem adaptada a zonas montanhosas, vai aparecer no interior norte e centro, mais concretamente nas regiões de Trás-os-Montes e da Beira Interior. Em Trás-os-Montes a cultura apresenta maior expressão na Terra Fria, localizada nas “terras altas” sobretudo nos concelhos de Vila Pouca de Aguiar, Chaves, Valpaços, Vinhais, Bragança, Vimioso e Macedo de Cavaleiros. Na Beira Interior os concelhos da Guarda, Viseu, Sernancelhe e Penedono são onde a cultura apresenta maior expressão. Existe ainda, mais a sul, na região do Alentejo e Algarve, sendo explorada em pequenos núcleos. No Alentejo situa-se nas encostas da Serra de S. Mamede, perto de Castelo de Vide e Marvão e no Algarve surge, por exemplo, na Serra do Caldeirão.

Nas terras altas de Trás-os-Montes o castanheiro é uma das espécies arbóreas e frutícolas mais importantes. As condições edafoclimáticas locais favorecem o desenvolvimento da cultura. Ao longo dos tempos a castanha tornou-se um dos produtos mais valorizados da exploração agrícola, sendo muito apreciada e valorizada em mercados internos e externos. Segundo Laranjo *et al.* (2009) a importância que a castanha assumiu em Portugal é, em grande parte, devido às quebras de produção registadas em outros países europeus, onde o avanço de patologias e a fraca organização do setor em sistemas tradicionais não permitem gerar produções rentáveis.

É em Trás-os-Montes que se encontra a maior área de soutos tendo, por isso, uma importante contribuição para o rendimento das explorações. A cultura favorece também o desenvolvimento económico de outras atividades, como o turismo rural, onde se inclui a caça, uma vez que fornece alimentação a várias espécies cinegéticas (Laranjo *et al.*, 2009).

## **2. FERTILIZAÇÃO MINERAL**

### **2.1. Nutrição mineral das plantas**

As plantas, como organismos vivos, necessitam de alimento para se desenvolverem e produzirem. Assim, segundo Santos (1996), nutrição vegetal define-se como o conjunto de fenômenos através dos quais a planta retira do meio que a rodeia as substâncias que são necessárias ao seu metabolismo, potenciando o seu crescimento e produção.

As plantas, como seres foto-autotróficos, sintetizam as moléculas orgânicas necessárias ao seu metabolismo usando água, dióxido de carbono atmosférico, elementos minerais e utilizando a radiação solar como fonte de energia (Varenes, 2003).

Até ao presente, a ciência identificou dezasseis elementos como sendo essenciais às plantas. Um elemento nutriente para ser considerado essencial deverá satisfazer os seguintes requisitos (Santos, 1996; Varenes, 2003):

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

Para efeitos práticos, relacionados com a fertilização das culturas, os nutrientes são frequentemente divididos em macronutrientes principais, macronutrientes secundários e micronutrientes. De acordo com Santos (1996), macronutrientes principais são elementos absorvidos em quantidades elevadas e que, normalmente, não existem no solo em quantidades adequadas ao desenvolvimento das plantas, sendo habitual a sua aplicação como fertilizante. Neste grupo incluem-se o azoto, fósforo e potássio. Os macronutrientes secundários são elementos que são ainda necessários em quantidades elevadas mas que, em muitas situações, existem no meio em quantidades adequadas, sendo menor a probabilidade da necessidade de os aplicar como fertilizante. Incluem-se neste grupo o cálcio, magnésio e enxofre. Os micronutrientes são elementos essenciais necessários às plantas em quantidades reduzidas e que, frequentemente, existem no meio em quantidades adequadas para as plantas. A sua aplicação como

fertilizante é menos regular que a aplicação de macronutrientes, em particular dos macronutrientes principais. Por outro lado são normalmente aplicados em quantidades reduzidas. Os elementos incluídos neste grupo são o ferro, zinco, cobre manganês, boro, cloro e molibdénio. Sobre muitos outros elementos sabe-se serem úteis às plantas mas não está ainda comprovado que sejam essenciais a todas as plantas superiores. Alguns exemplos são o níquel, silício e alumínio.

O fato de, no meio em que as plantas se desenvolvem, não se encontrarem todos os elementos essenciais nas quantidades que permitam à planta expressar o potencial produtivo que o homem deseja levou ao desenvolvimento de estratégias de fertilização das culturas. Verifica-se também que, por vezes, o problema maior não é a quantidade total do nutriente no solo, mas sim a sua biodisponibilidade, isto é, os nutrientes existem no solo mas não em condições de serem absorvidos pelas plantas. Por vezes é necessário corrigir aspetos físicos, químicos e/ou biológicos para os nutrientes ficarem biodisponíveis.

Os fertilizantes são habitualmente divididos em dois grupos: corretivos e adubos. Os corretivos utilizam-se principalmente para modificar as propriedades do solo, enquanto os adubos se utilizam sobretudo para fornecer nutrientes (Santos, 1996). Assim, podem usar-se corretivos minerais, como calcários, para alterar o pH do solo ou corretivos orgânicos para melhorar o teor de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Os adubos mais utilizados veiculam sobretudo macronutrientes principais, embora na agricultura das regiões agrícolas mais desenvolvidas cada vez se recorra mais a substâncias fertilizantes que introduzam macronutrientes secundários e micronutrientes.

Nesta fase do trabalho e atendendo à extensão do tema, são apenas focados e revistos os nutrientes e fertilizantes em estudo nesta tese, designadamente o azoto, fósforo, potássio, boro e a aplicação de calcário para corrigir o pH do solo.

### 2.1.1. Azoto

O azoto é muitas vezes encontrado em deficiência nos solos. Esta ocorrência leva a que o crescimento vegetal seja limitado. O azoto está integrado na estrutura de inúmeras moléculas orgânicas fundamentais ao metabolismo e multiplicação celular, tais como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofilas e hormonas vegetais. As plantas absorvem este elemento principalmente pela raiz, podendo também ser absorvido pela parte aérea das plantas, pelos estomas e micróporos das folhas. Pela parte aérea, as formas de azoto absorvidas são principalmente o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) e o dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ), que são absorvidos pelos estomas e metabolizados nas células vizinhas. Porém, este processo pode ser invertido, levando à libertação de amoníaco pelos estomas, nomeadamente aquando da fase de senescência. Na maioria dos solos, o azoto absorvido pelas raízes das plantas é, em grande parte, nas formas de iões nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amónio ( $\text{NH}_4^+$ ), devido à aplicação de azoto nestas formas ou à ação dos microrganismos do solo, que convertem o azoto orgânico em mineral. O ião amónio em solos ácidos e com temperaturas baixas prevalece sobre o ião nitrato, o que é provocado pela baixa atividade dos microrganismos em condições de baixas temperaturas. As concentrações do ião nitrato no solo diminuem no decorrer do ciclo cultural, pois é absorvido pelas plantas e perdido por lixiviação; já o ião amónio é libertado lentamente dos minerais argilosos e forma-se, gradualmente, através da mineralização dos compostos orgânicos. Assim, em solos ácidos, frios ou fases mais avançadas do ciclo cultural, as plantas ficam diretamente dependentes da disponibilidade do ião amónio (Varenes, 2003).

Como o azoto entra na composição da clorofila, os sintomas de carência nas folhas das plantas traduzem-se por uma coloração amarelada (clorose). Isto verifica-se nas folhas mais velhas e acontece devido à capacidade da planta em hidrolisar os compostos orgânicos complexos, convertendo-os em substâncias mais simples e solúveis, que migram para as zonas de maior atividade merismática sendo utilizados na formação de novos tecidos (Santos, 1996).

Por outro lado, o azoto promove um resultado espetacular nas culturas, constatando-se um elevado vigor vegetativo e uma coloração verde intensa das plantas. Devido a este efeito do azoto na vegetação, por vezes, os agricultores aplicam este nutriente em excesso às culturas. As plantas possuem a capacidade de absorver esse azoto em excesso, fenómeno que segundo Santos (1996) se designa de “consumo de

luxo”, ou seja, o nutriente pode ser absorvido em quantidades superiores às necessidades fisiológicas e funcionamento normal do seu metabolismo. Desta forma, podem surgir inconvenientes, sobretudo se essa disponibilidade de azoto não for acompanhada de quantidades proporcionais de outros nutrientes, nomeadamente de potássio.

### **2.1.2. Fósforo**

Segundo Santos (1996) o fósforo é absorvido pelas culturas em menores quantidades que o azoto. Contudo, sendo um macronutriente principal significa que, na maioria das situações, não se encontra disponível nos solos em quantidades adequadas às culturas, sendo necessário aplicá-lo como fertilizante.

Varenes (2003) refere que, logo a seguir ao azoto, normalmente é o fósforo o elemento que mais frequentemente limita a produção vegetal. O fósforo não origina formas gasosas, sendo o fenómeno de lixiviação o mecanismo que explica a perda do nutriente, bem como a erosão do solo. Contudo, a lixiviação de fósforo não tem a extensão do azoto devido à menor solubilidade em água.

Os níveis de fósforo no solo são normalmente baixos e o nutriente existe em formas pouco disponíveis para as plantas, ou seja, parte significativa do nutriente encontra-se adsorvido aos colóides do solo ou precipitado (Varenes, 2003).

O fósforo aparece no solo sob formas orgânicas e minerais. As formas orgânicas fosfatadas, devido a sua complexidade, não são diretamente utilizáveis pelas plantas, pois só após a mineralização é que o fósforo fica disponível para ser absorvido (Santos, 1996).

Em solos de regiões temperadas, como é o caso em estudo, a decomposição da matéria orgânica é mais lenta devido à temperatura do solo ser mais baixa, tendo estes solos menor capacidade de adsorção do fósforo, tornando as formas minerais mais importantes na nutrição vegetal (Varenes, 2003).

As formas minerais constituem a principal fração de fósforo no solo, em solos pobres em matéria orgânica. O fósforo mineral encontra-se, em grande parte, na forma de fosfatos de cálcio, ferro ou alumínio, entre outros. O fósforo aplicado ao solo pode ser bloqueado por fenómenos de adsorção ou precipitação, não possibilitando às plantas oportunidade de o absorver (Varenes, 2003), designando-se por fenómeno de retenção do fósforo, que representa o conjunto dos processos que ocorrem no solo e influenciam

a disponibilidade do elemento para as plantas, englobando as reações de adsorção e precipitação. A adsorção está diretamente ligada ao pH. A precipitação ocorre em solos ácidos e envolve o ferro e o alumínio, enquanto nos solos calcários é precipitado sobretudo pelo cálcio (Varenes, 2003).

O fósforo é um elemento indispensável ao crescimento das plantas, assumindo maior interesse quando da instalação da cultura, pois provoca o rápido desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, vai permitir à planta uma maior capacidade de absorção de água e nutrientes do solo. A absorção deste elemento é limitada pelas baixas temperaturas do solo. O fósforo aplica-se normalmente ao solo, embora se possa aplicar por via foliar. Podem ser efetuadas aplicações foliares deste nutriente, embora em quantidades reduzidas. A eficiência de uso do nutriente aplicado por via foliar pode ser reduzida se existirem impurezas na superfície das folhas que possam levar à precipitação do fósforo (Santos, 1996).

Os sintomas de carência de fósforo podem ser verificados nas folhas, que frequentemente apresentam um tom arroxado. Este elemento possui mobilidade dentro da planta, podendo em situações de falta de fósforo transferir-se dos tecidos mais velhos para zonas merismáticas ativas, verificando-se carências nas folhas velhas devido à migração para as mais jovens. A carência deste elemento causa também um atrofiamento ao nível das zonas de crescimento, sobretudo no sistema radicular (Santos, 1996).

No que respeita à aplicação deste nutriente em excesso não deve existir qualquer receio já que não causa toxicidade nas plantas, podendo até reduzir os efeitos negativos provocados pela absorção excessiva de azoto (Santos, 1996).

### **2.1.3. Potássio**

O potássio também é considerado um macronutriente principal devido à elevada quantidade absorvida pelas plantas e também porque a sua aplicação como fertilizante é frequente. O potássio surge nos solos agrícolas em níveis muito diversos. Enquanto alguns solos contêm teores satisfatórios para as culturas, em outros solos existe a necessidade de serem realizadas aplicações, de modo a complementar o disponível. Nos sistemas agrícolas, o potássio é absorvido e exportado em quantidades elevadas no material vegetal, promovendo o empobrecimento gradual do solo. Assim, se o solo não

possuir capacidade natural de reposição do nutriente, vai ser necessário realizar fertilizações de potássio para suprir o que foi consumido (Varenes, 2003).

De acordo com Santos (1996), o potássio encontra-se nos solos em quatro *pools* principais, designadamente, parte da estrutura dos minerais primários, fixado entre as camadas 2:1 dos minerais de argila, adsorvido no complexo de troca e na solução do solo.

O potássio que faz parte da estrutura de minerais, como feldspatos e micas, não se encontra disponível para as culturas, pois apenas quando estes minerais sofrem alterações estruturais é que libertam o potássio, deixando o elemento com a capacidade de entrar em equilíbrio com o potássio da solução do solo. O potássio que se encontra sob esta forma é considerado uma forma de reserva, a mais abundante em relação a todas as outras, constituindo 90 % a 98 % do total (Santos, 1996).

Se existir em grande quantidade no solo, o potássio também pode ser absorvido pelas plantas em consumo de luxo, o que representa uma ineficiência do uso do nutriente, principalmente em culturas que além do fruto sofrem podas e o resíduo dessas podas não é repostado ao solo (Varenes, 2003).

O potássio na planta influencia o metabolismo de glúcidos e favorece a fotossíntese. Influencia também o metabolismo do azoto e a síntese proteica. O potássio possui grande mobilidade dentro da planta, podendo migrar facilmente para zonas de desenvolvimento de tecidos meristemáticos. Por outro lado, uma planta bem suprida de potássio torna-se mais resistente à seca. Devido à elevada capacidade de hidratação do potássio, as células tornam-se mais turgidas, perdendo menos água por transpiração, exercendo uma função de osmorregulador das células, o que permite à planta absorver água em solos com potencial osmótico baixo. Este nutriente pode ainda aumentar a conservação dos frutos e melhorar as suas características organolépticas (Santos, 1996).

As carências de potássio manifestam-se ao nível das folhas, apresentando manchas cloróticas junto à margem. Essas manchas provocam a morte dos tecidos causando necroses de cor acastanhada e, simultaneamente, o enrolamento da folha sobre a página superior. Devido à sua mobilidade, os sintomas de carência surgem nas folhas mais velhas (Santos, 1996).

#### **2.1.4. Boro**

As condições climáticas juntamente com a rocha-mãe vão determinar o teor de boro de um solo, apresentando teores de boro mais elevados os solos com origem marítima. O boro pode ser encontrado em horizontes superficiais de regiões áridas, mas também em climas húmidos e pode ser facilmente lixiviado. O boro encontra-se em minerais do grupo da turmalina, que apresenta elevada resistência à meteorização. Assim, mesmo que o solo possua quantidades totais de boro elevadas, isso não significa que se encontre disponível para ser assimilado pelas plantas. Em solos ácidos pode surgir boro disponível para as plantas, na forma de ácido bórico que, no entanto, apresenta elevadas perdas por lixiviação. A disponibilidade do boro é também reduzida posteriormente a uma calagem. Em solos de textura fina, apresenta maior retenção que em solos de textura grosseira sendo, neste último, mais facilmente perdido. Mesmo assim, ao comparar dois solos com igual teor deste elemento, com diferentes texturas vai encontrar-se maior disponibilidade de boro nos solos de textura grosseira do que nos solos com mais coloides, que vão provocar adsorção. Os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio apresentam ainda maior capacidade de adsorção que os minerais de argila. O movimento deste elemento nos solos acontece principalmente por fluxo de massa, tendo a água uma enorme influência na disponibilidade para as plantas (Varenes, 2003).

No que diz respeito à mobilidade do boro na planta, esta depende da espécie vegetal, não possuindo grande mobilidade na maioria das plantas. Em plantas como o castanheiro e a figueira a sua translocação está relacionada com a taxa de transpiração (Varenes, 2003).

Nas culturas o boro participa na formação dos ácidos ribonucleicos, na síntese e translocação dos glúcidos e na proporção de mono e polissacarídeos. Associados ao teor de boro nas plantas, podem estar fenómenos como a redução da transpiração e a polinização. As aplicações de boro podem ser realizadas ao nível do solo mas também, de forma eficaz, ao nível foliar. Ao nível do solo pode ser aplicado qualquer sal de boro. No entanto, ao nível foliar convém aplicar um produto muito solúvel. Os sintomas de carência e excesso verificados ao nível das folhas são muito idênticos, por isso, as aplicações devem ser cautelosas (Santos, 1996). As carências podem ser verificadas através da morte dos ápices, os caules ficam quebradiços e as folhas ficam distorcidas com cloroses amareladas seguindo-se de necroses (Varenes, 2003).

### **2.1.5. Calcário**

A principal função da aplicação de calcário é aumentar o pH dos solos. Os calcários apresentam preços suportáveis e não são cáusticos, o que permite a sua aplicação na instalação ou em culturas já instaladas. Anteriormente, eram utilizados como corretivos alcalinizantes óxido ou hidróxido de cal, vulgarmente designados por cal viva e cal apagada, tendo estes produtos estado na origem do termo calagem. Nos dias de hoje, utilizam-se os calcários, quase exclusivamente, podendo ser calcíticos, compostos por carbonato de cálcio, ou dolomíticos, compostos por carbonato de cálcio e magnésio (Varenes, 2003).

Os calcários sendo originários de rochas sedimentares, contêm impurezas como a sílica, óxidos de ferro e alumínio. Um produto alcalinizante para ser eficiente tem que ser facilmente dissolvido, estando dependente da sua superfície específica, ou seja, do tamanho das partículas. A granulometria apropriada do calcário é atingida através de trituração e moenda (Varenes, 2003).

Caso exista uma carência de magnésio no solo deve ser realizada uma calagem utilizando um calcário magnesiano. Contudo, é necessário ter em conta que os calcários magnesianos são significativamente mais caros.

## **2.2. Fertilização em castanheiros**

Antigamente aproveitava-se o sobcoberto dos soutos para semear cereais, sendo os restolhos utilizados como uma fonte de matéria orgânica importante. A abundância de explorações pecuárias, com bovinos e ovinos a pastar nos soutos, constituía uma forte incorporação de estrume no solo (Serrano *et al.*, 2001). A aplicação de fertilizantes minerais é uma técnica mais recente.

### **2.2.1. Fertilização mineral**

Em função da fertilidade natural do solo, deve ser realizada a aplicação de fertilizantes de modo a fornecer as necessidades da cultura. Na utilização de fertilizantes minerais na cultura do castanheiro deve procurar-se um certo equilíbrio entre os elementos azoto, fósforo e potássio, podendo um adubo composto 15-15-15 granulado ser interessante, pois o azoto tem interferência direta no crescimento da planta, enquanto o fósforo e o potássio influenciam a frutificação (Serrano *et al.*, 2001). De acordo com

Serrano *et al.* (2001) devem ser utilizados adubos compostos com teores de azoto mais baixos e mais altos em fósforo e potássio.

De acordo com Brio *et al.* (1997), comprovaram que o castanheiro é exigente em potássio, o qual não é um problema em solos graníticos, no entanto pode sê-lo em solos xistosos.

Serrano *et al.* (2001) referem que as doses de adubo composto dependem das condições do solo e das necessidades das plantas, devendo utilizar-se doses indicativas, tendo em conta as extrações das plantas, o compasso de plantação e a idade das árvores. Serrano *et al.* (2001) recomendam que a aplicação seja realizada em duas vezes: 2/3 da dose seja aplicada no mês de maio; e 1/3 do restante em finais do mês de setembro.

Se forem utilizados fertilizantes simples as aplicações deverão ser também fracionadas nas mesmas datas referidas para os fertilizantes compostos. As doses dependem sempre da fertilidade natural do solo e das necessidades das plantas.

### **2.2.2. Aplicação de calcário**

O calcário apresenta uma elevada importância na estabilidade do solo, assim como para as plantas e, no caso do castanheiro, assume alguma relevância devido a este se desenvolver em solos ácidos (Serrano *et al.*, 2001).

O indicador da necessidade da aplicação de calcário ao solo é o pH. Em solos em que o pH seja menor que 6 é conveniente realizar aplicações de calcário. Quando se efetua uma fertilização à base de materiais orgânicos, a aplicação de calcário deve ser realizada no ano seguinte à aplicação do estrume. No caso de siderações ou adubações verde, a decomposição dá-se numa zona mais superficial e a aplicação de calcário realiza-se em anos alternados. Já no caso do uso de um produto compostado, o calcário pode ser adicionado à pilha, evitando uma posterior aplicação ao solo (Serrano *et al.*, 2001).

Serrano *et al.*, (2001) defendem que a aplicação de calcário seja realizada durante o mês de abril, não devendo coincidir com a aplicação de matéria orgânica.

Quando surgem casos de pH abaixo de 5 é necessário realizar uma correção com maior quantidade de calcário, pois o pH reduzido pode indicar a existência de graves problemas no solo. É de salientar que, quando surge a necessidade de modificar lentamente o pH, deve ter-se em conta que esta prática pode alterar as condições e formas de vida do solo, logo deve ser determinada a quantidade a aplicar antes da

plantação e aquando da colocação das plantas, com o objetivo de causar menos problemas no solo. Contudo, em plantações já estabelecidas é conveniente realizar aplicações moderadas e periódicas até alcançar o efeito desejado (Serrano *et al.*, 2001).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização do clima e solo

O ensaio foi instalado na freguesia de Gostei (Latitude 41°46'44.68"N; Longitude 6°48'59.04"W), concelho de Bragança.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, a região de Bragança está sob influência de clima Temperado ou Mesotérmico do tipo C, pertencendo ao subtipo Csb clima temperado húmido com verão seco e temperado. Uma temperatura média anual superior a 10 °C e inferior ou igual a 12,5 °C (F) e uma precipitação acumulada entre 600 a 800 mm (F<sub>3</sub>) determinam a sua inclusão na “terra fria de planalto” (Agroconsultores e Coba, 1991).

Os valores da precipitação acumulada e da temperatura média do ar anual da normal climatológica 1971 a 2000 são 757,5 mm e 12,3 °C, respetivamente (IPMA, 2014). A distribuição da temperatura e da precipitação ao longo dos meses do ano são apresentadas no diagrama ombrotérmico da figura 1.

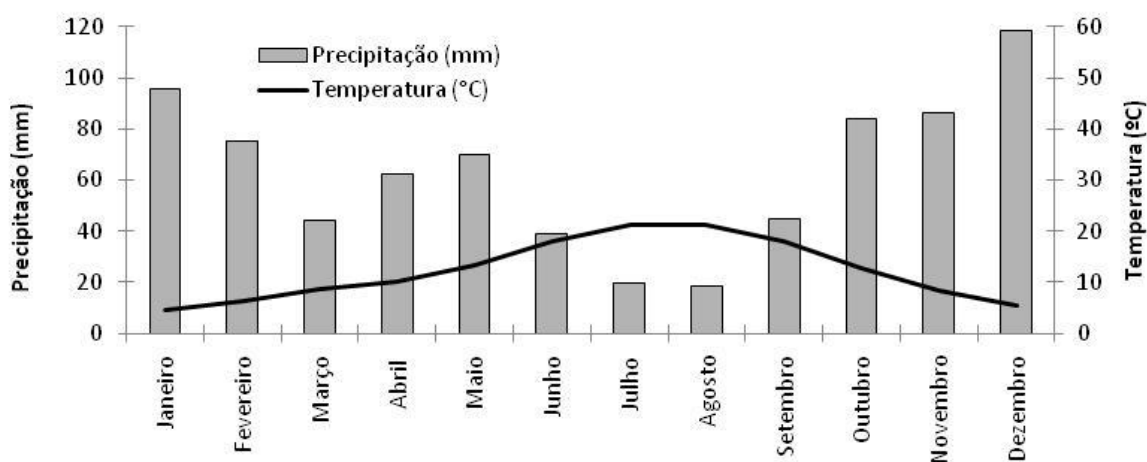


Figura 1. Valores da precipitação acumulada e temperatura média do ar mensal da normal climatológica 1971-2000.

A região de Bragança está inserida numa zona planáltica, em que as formações rochosas que originaram os solos são sobretudo xistos e quartzitos, sendo as formações do maciço de Bragança rochas metabásicas, peridotitos, serpentinitos, xistos verdes, gnaisses e rochas carbonatadas (Agroconsultores e Coba, 1991). A parcela onde se instalou o ensaio apresenta um declive moderado (~5%), numa encosta voltada a Noroeste. Os solos da parcela são classificados como leptossolos de natureza básica.

Foram amostrados no início do ensaio em 26 de dezembro de 2012, sendo as suas principais características físico-químicas as que constam no quadro 1.

Quadro 1. Algumas características físico-químicas do solo antes da instalação do ensaio.

Características físicas		Características químicas	
Textura	Franca	pH (H <sub>2</sub> O)	5,57
Areia (%)	61,92	Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	15,60
Limo (%)	26,29	Fósforo extraível (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (mg kg <sup>-1</sup> )	15,48
Argila (%)	11,79	Potássio extraível (K <sub>2</sub> O) (mg kg <sup>-1</sup> )	86,00
		Cálcio de troca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,69
		Magnésio de troca (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,07
		Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	0,25

### 3.2. Instalação do ensaio

#### 3.2.1. Preparação do terreno

A parcela onde se instalou o ensaio estava em pousio de longa duração desde há 6 a 7 anos atrás, após cultivo de cereais. O solo estava revestido de mato esparsos maioritariamente dominado por giestas. O estrato herbáceo era pastoreado pelos rebanhos de ovinos da região.

A preparação da parcela iniciou-se com a passagem de um destróador de martelos para eliminar o estrato arbustivo. Seguiu-se uma lavoura profunda (~40 cm) com uma charrua de aivecas de dois ferros reversível a 180°. Posteriormente (em 29 de maio de 2013) procedeu-se à aplicação de alguns fertilizantes previstos no delineamento experimental (3.2.2), designadamente fósforo, potássio e calcário. Estes fertilizantes foram incorporados com uma escarificação. De seguida, foram abertos os regos para plantação. Utilizou-se uma charrua de aivecas de 1 ferro, reversível a 90°. O trabalho de colocação das plantas e o seu enterramento foi feito manualmente com enxada. Após plantação, em 5 de junho, aplicaram-se os fertilizantes contendo azoto e boro.

### 3.2.2. Delineamento experimental

No ensaio foram incluídos seis tratamentos fertilizantes, organizados em seis linhas de mais de 30 plantas por linha, com vista a estudar o efeito da aplicação de calcário e também da ausência de cada um dos macronutrientes principais (azoto, fósforo e potássio) e de boro do plano de fertilização. A forma como a experiência foi organizada encontra-se representada no quadro 2.

Quadro 2. Tratamentos fertilizantes de cada uma das linhas de plantas.

Linha	Tratamento fertilizante
L1	N-K-B (sem fósforo)
L2	N-P-B (sem potássio)
L3	N-P-K (sem boro)
L4	P-K-B (sem azoto)
L5	N-P-K-B (testemunha)
L6	N-P-K-B-Calcário (com calcário)

Os tratamentos com azoto foram fertilizados com o equivalente a  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$ . O azoto foi aplicado numa faixa de 50 cm para cada lado da linha de plantas. Foi usado nitrato de amónio (20,5% N) como fertilizante.

Os tratamentos com fósforo receberam  $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , tendo sido fertilizada uma faixa de 2 m para cada lado da linha de plantas. Foi usado como fertilizante superfosfato de cálcio (18%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Os tratamentos com potássio receberam  $200 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ , distribuídos, tal como o fósforo, numa faixa de 2 m para cada lado da linha de plantas. Para veicular o potássio usou-se um fertilizante à base de cloreto de potássio (60%  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Os talhões com boro receberam  $2 \text{ kg B ha}^{-1}$  e, tal como o azoto, o nutriente foi aplicado numa faixa de 50 cm para cada lado da linha de plantas. Para veicular o boro usou-se Borax (11% B).

No talhão que recebeu calcário este foi aplicado à razão de  $2000 \text{ kg ha}^{-1}$ . O calcário foi aplicado numa faixa de 2 m para cada lado da linha de plantas. Usou-se um calcário comercial com valor neutralizante 86, 80% de carbonato de cálcio, 5% de carbonato de magnésio e uma granulometria com 93% da massa menor que 5 mm.

A constituição de faixas com largura diferente para cada um dos fertilizantes teve em conta as diferentes mobilidades dos nutrientes. Isto é, para o azoto e boro, não

faria sentido aplicá-los muito afastados das plantas, na medida em que, devido à sua elevada mobilidade no solo e à reduzida extensão do sistema radicular, os elementos não seriam absorvidos com eficiência. Para os elementos menos móveis como o fósforo, o potássio e o calcário, pareceu útil ir melhorando a fertilidade do solo numa faixa mais alargada. Por outro lado, evita-se mobilizar para incorporar estes fertilizantes, o que reduz o risco de danificação das plantas jovens.

### **3.2.3. Preparação das plantas e plantação**

Frutos da espécie *Castanea sativa* (Mill.) foram colocados a estratificar durante o inverno de 2012/13 em areia húmida e local fresco e escuro. À saída do inverno, as castanhas foram colocadas a germinar em cuvetes de 15 cm de altura com substrato orgânico comercial. A plantação ocorreu em 5 de junho, quando as plântulas apresentavam 10 a 15 cm de altura.

Em campo, procedeu-se à abertura de covas sob um rego previamente aberto com charrua, sendo as plantas enterradas até ao nível do substrato orgânico das cuvetes. As plantas foram espaçadas de 1 m linear nas linhas. O espaço entrelinhas foi de 19 m.

### **3.2.4. Manutenção do ensaio**

Após plantação, as plantas foram regadas para reduzir a crise de transplante.

O solo foi, posteriormente, escarificado para eliminar o micro-relevo resultante da abertura dos regos e do processo de plantação.

Posteriormente, foram abertas caldeiras, tendo as plantas sido regadas durante o verão de 2013 com periodicidade quinzenal transportando a água com cisterna. No verão de 2014 as plantas foram mantidas em sequeiro.

No inverno de 2014, em todas as zonas fertilizadas no ano anterior, foram colhidas amostras de solo para monitorização do efeito na fertilidade do solo obtida com a aplicação dos fertilizantes de primeiro ano. Os resultados das análises levaram a que se reforçasse a aplicação de calcário, mas também de fósforo e potássio. No caso do calcário, aplicou-se uma segunda dose de 2000 kg ha<sup>-1</sup>. No caso do fósforo e do potássio, a fertilização foi reforçada com 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respetivamente. Também foi aplicado azoto e boro, em doses iguais ao ano anterior, pois para estes nutrientes mais móveis está prevista aplicação anual. Este reforço de fertilização com

calcário, fósforo e potássio foi efetuado em 8 de março de 2014. Em 5 de maio foram aplicados os fertilizantes contendo azoto e boro.

### **3.2.5. Determinações de campo**

Em 8 de março de 2014, ainda em repouso vegetativo a seguir à primeira estação de crescimento, foi medida a altura das plantas. O procedimento repetiu-se no fim da segunda estação de crescimento em 20 de setembro de 2014. Nesta segunda data, foi também medido o diâmetro do tronco usando uma craveira e registado o número de plantas mortas.

Em 28 de junho de 2014 foi efetuada uma colheita de folhas para análise elementar e avaliação do estado nutricional das plantas. Colheram-se folhas jovens com o limbo completamente expandido a partir do caule principal.

Em 30 de maio, 28 de junho e 14 de agosto foi estimado o teor de clorofila nas folhas com o medidor de clorofila SPAD-502. O aparelho dispõe de duas hastes onde se inserem as folhas. Uma das hastes emite um feixe de luz que atinge um recetor localizado no lado oposto. O SPAD-502 mede a transmitância da luz através da folha a 650 nm, que corresponde à região de máxima absorvância pela clorofila. Uma segunda fonte de luz a 940 nm permite a calibração interna. Desta forma, o aparelho fornece estimativas adimensionais do teor de clorofila (Schepers et al., 1992; Rodrigues, 2000). Os valores SPAD podem ser bons indicadores do estado nutritivo azotado, na medida em que a maior parte do azoto das células se encontra na molécula de clorofila (Lopez-Cantarero et al., 1994). Estas medições foram efetuadas sobre folhas jovens com o limbo completamente expandido.

Em 30 de maio, 28 de junho e 2 de agosto foram ainda avaliadas as propriedades óticas das folhas com um espectrorradiómetro portátil (Field Scout CM 1000 NDVI meter). O aparelho fornece medições por controlo remoto sem contato com as folhas (Mateus, 2011). O aparelho emite luz a 660 e 840 nm que se faz incidir sobre a superfície das folhas. A luz ambiente e a luz refletida em cada um dos comprimentos de onda são medidas. A molécula de clorofila absorve a 660 nm e, como resultado, a reflexão de luz neste comprimento de onda é reduzida em comparação com a refletida a 840 nm que não é afetada. Desta forma, obtém-se um indicador de estado (nutricional) das plantas na forma de um indicador de vegetação NDVI (Normalized Difference

Vegetation Index) (Anon., 2009). Tal como nos indicadores anteriores, estas medições foram efetuadas sobre folhas jovens com o limbo completamente expandido.

Em 14 de agosto de 2014 efetuou-se uma ligeira poda, onde se eliminaram ramos com potencial para competir com o caule principal e algumas ramas basais. A lenha de poda foi conduzida para laboratório onde foi seca em estufa, pesada e analisada para a composição elementar.

### **3.3. Determinações laboratoriais**

#### **3.3.1. Análise de solos**

As amostras de solo colhidas antes da instalação do ensaio e no fim do primeiro ano para avaliação da primeira aplicação de fertilizantes, foram secas em estufa regulada a 40 °C. Posteriormente, foram crivadas em malha de 2 mm. Seguidamente, descrevem-se os procedimentos analíticos efetuados na fração terra fina.

Textura – A textura foi determinada pelo método da pipeta (Van Reeuwijk, 2002). O método consiste na separação das partículas numa coluna de água de 1000 ml de capacidade em função do seu tamanho e do tempo. A areia grossa é separada previamente com um crivo de com malha de 50 µm. A colheita de amostras com água e argila e com água, argila e limo é feita com uma pipeta de 25 ml, que são depois colocadas em copos que vão secar numa estufa a 105 °C até completa evaporação da água. Após os respetivos cálculos para determinação das percentagens em areia, limo e argila recorre-se ao diagrama triangular das texturas apresentado por Costa (1995) e determina-se a classe de textura do solo correspondente.

pH - O pH foi medido com um potenciómetro *Inolab Level 1 WTW* numa suspensão de solo: solução de água e KCl 1M, de 1:2,5, após duas horas de contacto com agitação ocasional (Van Reeuwijk, 2002).

Matéria orgânica – Na determinação da matéria orgânica foi seguido o procedimento de Walkley-Black, utilizado nos laboratórios para determinação do carbono (C) facilmente oxidável. Este método consiste numa digestão húmida da matéria orgânica da amostra de solo com a mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico durante 30 minutos. Para a determinação do carbono facilmente oxidável, o dicromato residual é titulado com sulfato de ferro e o teor de matéria orgânica é estimado através da multiplicação da percentagem de carbono pelo fator 1,72,

associando a suposição de que a matéria orgânica da amostra do solo contém cerca de 58% de C (Van Reeuwijk, 2002).

Fósforo e Potássio “assimiláveis”- O fósforo e o potássio foram determinados pelo método de Egner-Riehm: a uma amostra de solo é adicionada uma solução de lactato de amónio e ácido acético tamponizada a pH 3,5 na proporção de 1:20, e a suspensão é sujeita a agitação durante duas horas (MAP e LQARS, 1977). Após filtrar a suspensão, o fósforo é determinado por espectrofotometria UV/VIS no comprimento de onda 882 nm, posteriormente ao desenvolvimento de cor pelo método do ácido ascórbico. Este método de desenvolvimento de cor consiste na formação de um complexo ácido fosfo-molibdénico que é reduzido a azul-fosfo-molibdénico na presença do ácido ascórbico (Van Reeuwijk, 2002). Foi utilizado nas leituras um espectrofotómetro UV/VIS T80 PG Instrument Lda. A quantificação do potássio é realizada por fotometria de chama (MAP, 1977) no equipamento Jenway. A concentração destes elementos é expressa na forma de  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , respetivamente.

Capacidade de troca - É percolada uma amostra de solo com uma solução de acetato de amónio tamponizada a pH 7 após 30 minutos de contacto e agitação. Os cations  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  e  $Na^+$ , são determinados no extrato filtrado, por espectrofotometria de absorção atómica (Van Reeuwijk, 2002) num equipamento PYE Unicam PU 9100X.

### **3.3.2. Análise de tecidos vegetais**

A lenha de poda e as folhas colhidas para avaliação do estado nutritivo das plantas foram conduzidas ao laboratório, secas em estufa de ventilação forçada regulada a 70 °C e moídas num moinho Cyclotec com malha de 1 mm. Posteriormente, procedeu-se à determinação da composição elementar dos tecidos vegetais pelos métodos descritos de seguida.

Determinação da concentração em azoto – Para a determinação da concentração em azoto procedeu-se à digestão de um grama de matéria seca com ácido sulfúrico na presença de um catalisador num bloco de digestão em alumínio à temperatura de 400 °C durante 40 minutos. Terminado o período de digestão, colocou-se o tubo de digestão num equipamento automático *Kjeltec TM 8400 Analyser unit FOSS* sendo de seguida adicionada uma quantidade de hidróxido de sódio acompanhado de vapor de água. A amónia formada é arrastada na corrente de vapor e titulada com ácido clorídrico num

vaso com uma solução recetora de ácido bórico e indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metilo) (Bremner, 1996).

Determinação da concentração em P, K, Ca, Mg – Pesou-se uma quantidade de 0,25 g de matéria seca, que foi mineralizada num digestor por micro-ondas MARS na presença de ácido nítrico. Na solução obtida foi feita a determinação dos iões referidos pelas metodologias descritas no ponto anterior, (3.3.1. Análise de solos).

Determinação da concentração em boro - após incineração da amostra de matéria seca com óxido de cálcio, seguiu-se a diluição das cinzas com ácido sulfúrico diluído. O desenvolvimento de cor foi feito pelo método da azometina-H (Jones, Jr, 2001).

### **3.4. Análise estatística de dados**

O tratamento de dados foi realizado no Microsoft Office Excel. Procedeu-se à determinação das médias das populações, do desvio padrão e do intervalo de confiança das médias.

Relativamente à altura das plantas e ao diâmetro dos troncos, constituíram-se três populações de dados distintas. Designadamente determinaram-se as estatísticas atrás referidas para a totalidade das plantas, para a população representada por 50% das plantas mais altas ou de maior diâmetro e para as populações representadas por 25% das plantas mais altas ou de maior diâmetro. Desta forma, pretendeu-se eliminar variabilidade experimental associada à crise de transplante das jovens plantas.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos no ensaio descrito em materiais e métodos. Basicamente comparam-se a performance das árvores e o seu estado nutricional em função dos tratamentos fertilizantes implementados.

### **4.1. Altura dos castanheiros**

A altura dos castanheiros foi medida em março de 2014, ainda durante o repouso vegetativo de inverno e em setembro de 2014, no fim da estação de crescimento deste ano. Os resultados são apresentados para a totalidade das plantas (Figura 2), para 50% das plantas mais altas (Figura 3) e para 25% das plantas mais altas (Figura 4).

Os resultados apresentados nas figuras 2 e 3 mostraram uma tendência para o maior crescimento em altura do tratamento fertilizante completo (N-P-K-B-Calcário) que se evidencia sobre os restantes. O tratamento N-P-K (tratamento sem boro) parece ser aquele em que as plantas apresentam menor crescimento em altura. Este nutriente aparenta ter um papel relevante no desenvolvimento dos tecidos meristemáticos (Alloway, 2008). Um estudo anterior de Portela e Lousada (2011) demonstrou a elevada importância do boro no castanheiro. Os autores verificaram que a aplicação de boro aumentou em quatro vezes a produção de castanha. Também em outras culturas da região como a oliveira foi demonstrada a importância do boro (Rodrigues *et al.*, 2011) e, sabe-se do conhecimento agronómico geral da região, da elevada importância do elemento em culturas como a vinha e o amendoal.

O tratamento sem potássio (N-P-B) também apresentou uma performance ligeiramente inferior aos restantes tratamentos, quer quando foram analisadas a totalidade das plantas, quer os grupos de plantas mais desenvolvidos (Figuras 2, 3 e 4). O resultado parece ter-se tornado mais evidente na medição de Setembro. Conhecida a importância do potássio na tolerância ao stresse hídrico das plantas (Santos, 1996; Varennes, 2003), talvez a limitação do elemento não tenha permitido a estas plantas um desenvolvimento ao nível das que foram fertilizadas com potássio. Deve recordar-se que, nesta estação de crescimento, as plantas não foram regadas durante o verão, tendo sido mantidas em regime de sequeiro.

A falta de azoto não aparentou ser determinante nesta fase inicial de desenvolvimento das plantas. Conhecida a importância do elemento para o desenvolvimento das plantas (Santos, 1996; Varennes, 2003), talvez este resultado seja devido às reduzidas necessidades das plantas nesta fase inicial de crescimento e ao facto do terreno estar com mato de giestas, que são leguminosas e deixam um importante resíduo azotado no solo, que terá suportado o crescimento das plantas na primeira estação de crescimento.

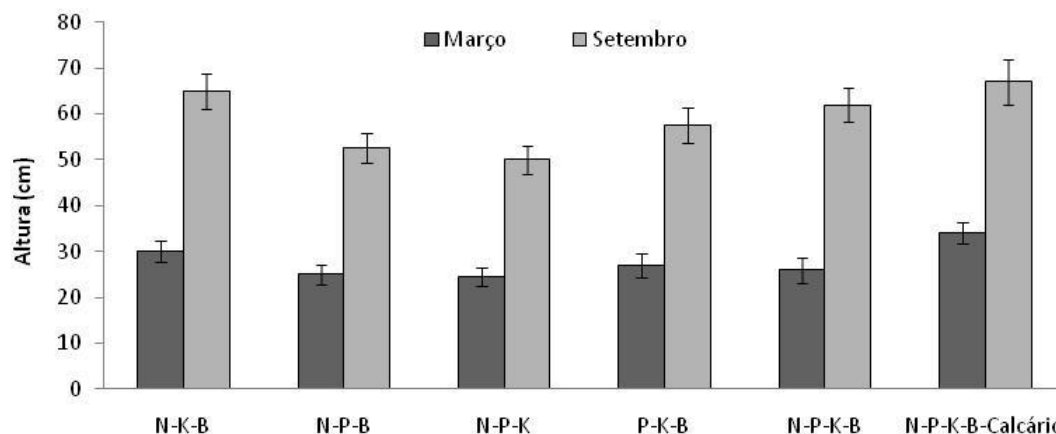


Figura 2. Média da altura de todos os castanheiros em março e setembro de 2014. As linhas verticais representam o intervalo de confiança da média ( $\alpha = 0,05$ ).

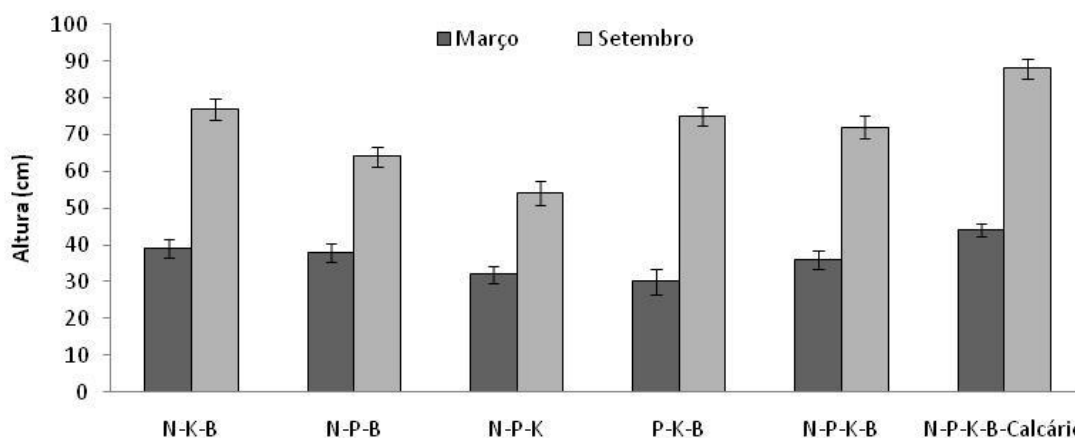


Figura 3. Média da altura de 50% dos castanheiros mais altos em março e setembro de 2014. As linhas verticais representam o intervalo de confiança da média ( $\alpha = 0,05$ ).

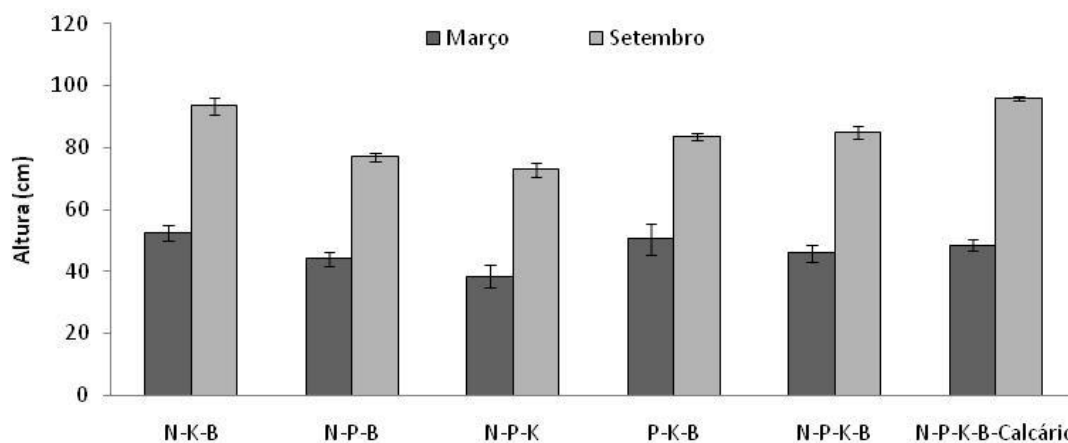


Figura 4. Média da altura de 25% dos castanheiros mais altos em março e setembro. As linhas verticais representam o intervalo de confiança da média ( $\alpha = 0,05$ ).

#### 4.2. Diâmetro do tronco dos castanheiros

Na medição do diâmetro dos troncos, tal como na medição da altura das plantas, a falta de boro parece ter sido o fator que, individualmente, mais afetou negativamente o crescimento das plantas (Figuras 5, 6 e 7). Alguns trabalhos em castanheiro (Portela *et al.*, 2011; Portela e Louzada, 2011; 2012) e também em outras culturas arbóreas da região como a oliveira (Rodrigues e Arrobas, 2008; Rodrigues *et al.*, 2011) têm demonstrado que o boro é um elemento determinante para o crescimento das dicotiledóneas na região, dada a limitação natural do elemento no solo.

Para além do boro, também o tratamento sem potássio parece ter afetado, ainda que de forma menos evidente, o engrossamento das árvores. É de salientar ainda uma breve referência ao azoto, uma vez que o elemento não afetou significativamente o crescimento das plantas nem o engrossamento do tronco, sendo a justificação provável a apresentada no ponto anterior.

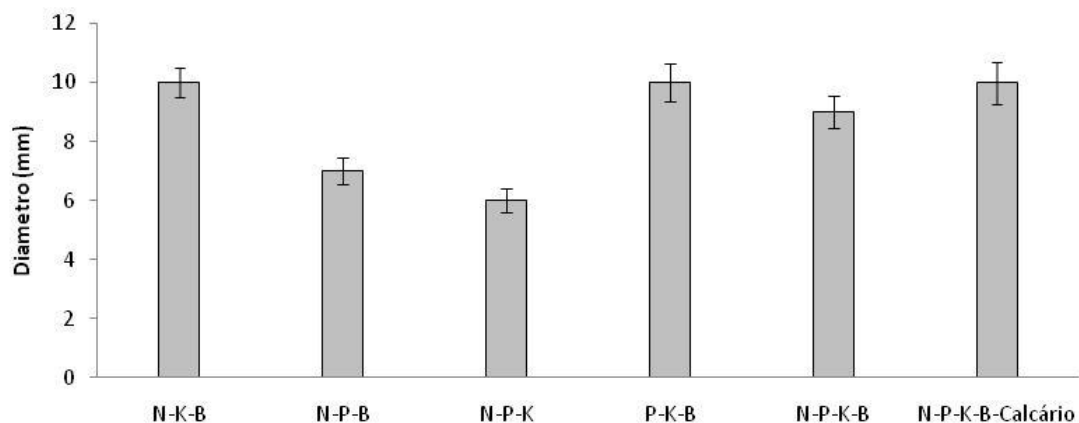


Figura 5. Média do diâmetro do troco dos castanheiros medido a 10 cm de altura em setembro. As linhas verticais representam o intervalo de confiança da média ( $\alpha = 0,05$ ).

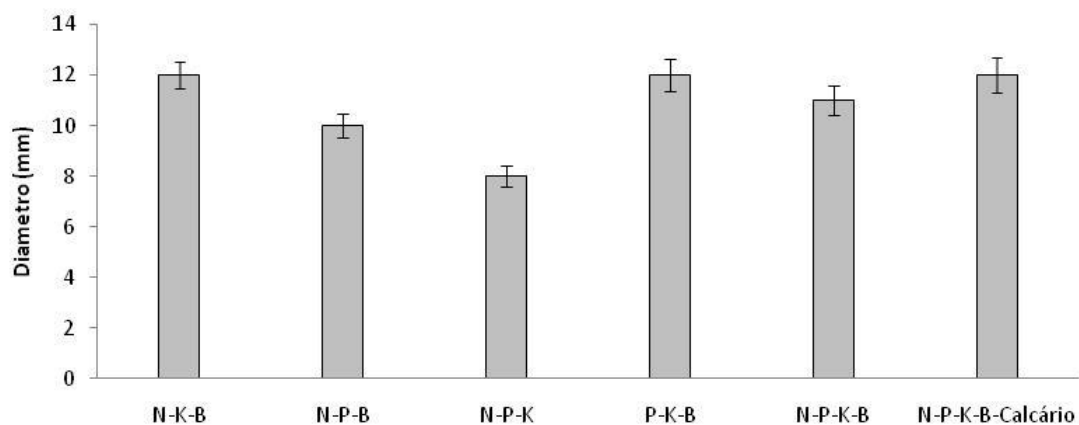


Figura 6. Média do diâmetro do troco de 50% dos castanheiros mais grossos, medido a 10 cm de altura, em setembro. As linhas verticais representam o intervalo de confiança da média ( $\alpha = 0,05$ ).

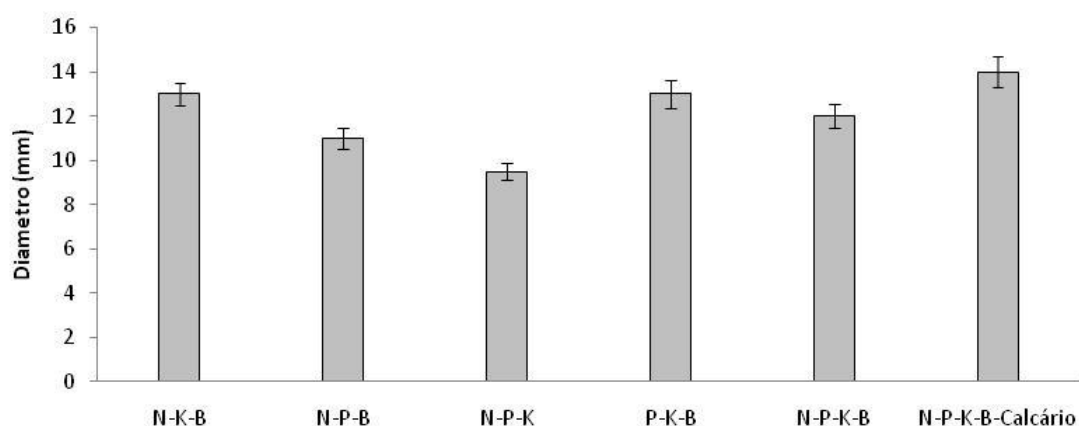


Figura 7. Média do diâmetro do tronco de 25% dos castanheiros mais grossos, medido a 10 cm de altura, em setembro. As linhas verticais representam o intervalo de confiança da média ( $\alpha = 0,05$ ).

### 4.3. Lenha de poda

Este ponto faz referência à biomassa da lenha de poda pesada depois de seca bem como à exportação dos nutrientes pelas folhas e caules.

#### 4.3.1. Biomassa da lenha de poda

Os tratamentos fertilizantes mais completos (N-P-K-B e N-P-K-B-calcário) produziram mais lenha de poda (caules e folhas) que os restantes tratamentos. O tratamento N-P-K-B produziu 656,8 g de folhas e 367,8 g de caules enquanto o tratamento N-P-K só produziu 324,9 g de folhas e 146,3 g de caules. Embora a análise da lenha de poda apresente alguma subjetividade, dado que depende da sensibilidade do podador e pode não refletir a totalidade de biomassa nas árvores, não deixa de indicar que se há mais lenha de poda isso pode significar maior exuberância vegetativa. Assim, globalmente, os resultados parecem sugerir que, de uma forma ou de outra, todos os elementos terão dado algum contributo para a maximização do crescimento das plantas, favorecendo os tratamentos mais completos.

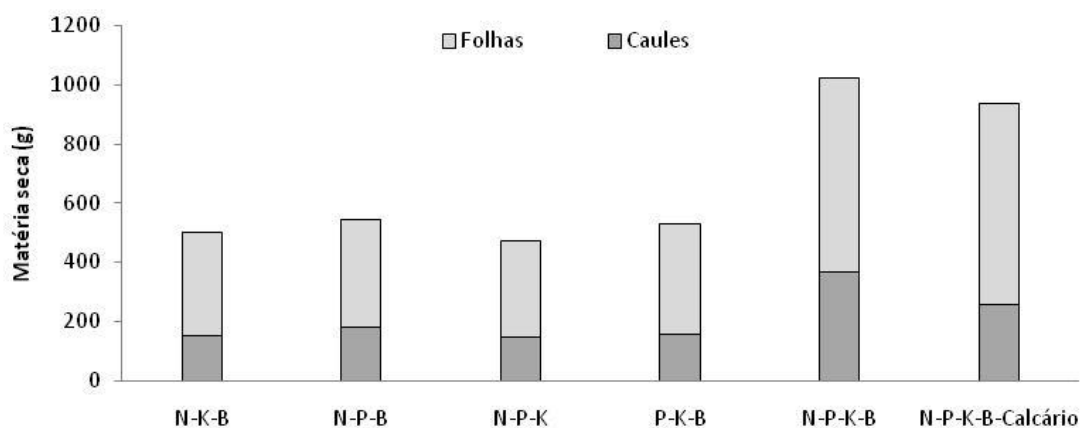


Figura 8. Matéria seca da lenha de poda distribuída por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

### 4.3.2. Macronutrientes exportados na lenha de poda

#### 4.3.2.1. Azoto exportado na lenha de poda

A quantidade total de azoto exportado na lenha de poda foi maior nos tratamentos fertilizantes completos (Figura 9). Este resultado é esperado já que a exportação é obtida multiplicando a massa seca da lenha de poda pela concentração do nutriente na matéria seca (Hawkesford, 2012). Assim, quanto maior a quantidade de lenha de poda maior a quantidade de azoto exportado. Os valores de azoto exportado variaram de 14,2 g de azoto nas folhas a 2,3 g de azoto nos caules no tratamento N-P-K-B e 7,1 g azoto nas folhas e 0,9 g azoto nos caules no tratamento sem azoto (P-K-B).

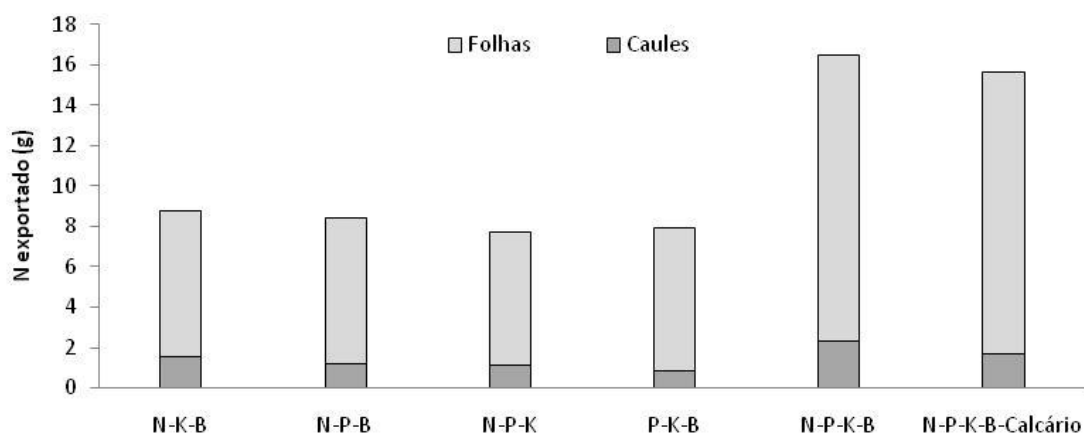


Figura 9. Azoto exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

#### 4.3.2.2. Fósforo exportado na lenha de poda

A quantidade de fósforo exportado na lenha de poda foi mais elevada no tratamento N-P-K-B, com valores de 1,2 g nas folhas e 0,2 g nos caules (figura 10). No tratamento com calcário (N-P-K-B-calcário) foi exportado menos fósforo do que no tratamento sem calcário, o que parece pressupor um “bloqueio” temporário na absorção de fósforo. Haynes (1982), numa revisão sobre o efeito da calagem na disponibilidade de fósforo, refere a possibilidade de criação de novas superfícies de adsorção para este nutriente, tornando-o temporariamente indisponível.

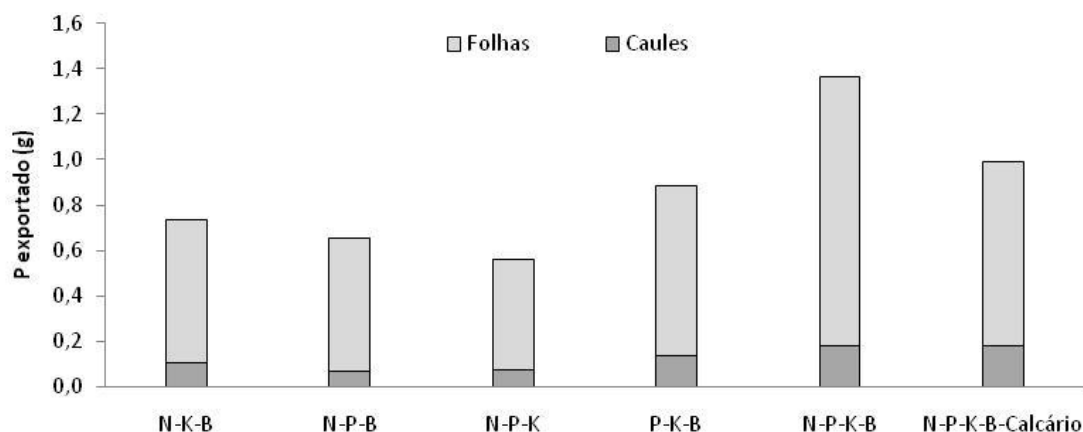


Figura 10. Fósforo exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

#### 4.3.2.3. Potássio exportado na lenha de poda

O potássio exportado na lenha de poda atingiu os valores mais elevados no tratamento N-P-K-B, refletindo, uma vez mais, a maior produção de biomassa neste tratamento (Figura 11). Os valores registados foram de 3,9 g nas folhas e 1,1 g nos caules. O tratamento sem potássio (N-P-B) foi aquele que registou menor exportação de potássio, como reflexo da menor concentração do nutriente nos tecidos. Neste tratamento registaram-se exportações de potássio de 1,4 g nas folhas e 0,3 g nos caules.

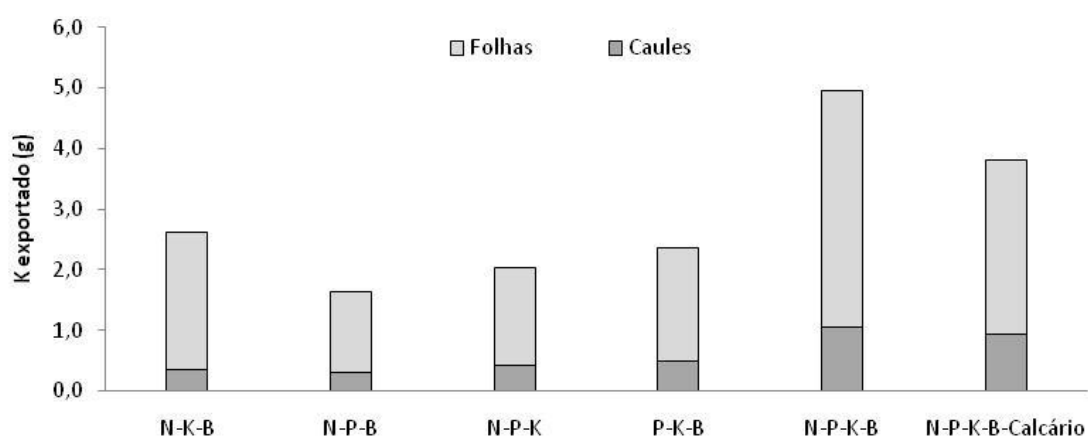
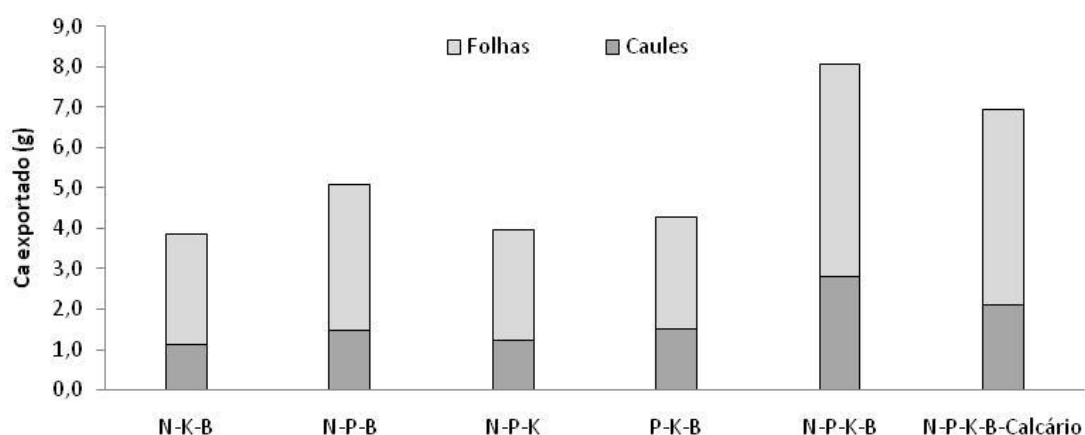


Figura 11. Potássio exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

#### 4.3.2.4. Cálcio exportado na lenha de poda

A exportação de cálcio foi também maior no tratamento fertilizante N-P-K-B, onde se obteve mais lenha de poda (Figura 12). Os valores registados foram de 5,2 g de cálcio nas folhas e 2,8 g de cálcio nos caules. É de realçar que no tratamento sem potássio (N-P-B) observaram-se valores altos de cálcio exportados na lenha de poda, o que se deve ao facto de, nos tratamentos com potássio, este ter inibido a absorção de cálcio. Este é um fenómeno de antagonismo iónico bem documentado na literatura (Varenes, 2003; Santos, 2012).

Figura 12. Cálcio exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.



#### 4.3.2.5. Magnésio exportado na lenha de poda

Os resultados do magnésio seguiram o padrão descrito anteriormente para o cálcio (Figura 13), uma vez que o calcário aplicado também contém magnésio. A similaridade no resultado verificou-se igualmente na relação com o potássio, em que o tratamento sem potássio registou um valor relativamente alto de exportação de magnésio. A ausência de  $K^+$  na solução do solo favorece a absorção de outros catiões (Mengel et al., 2001).

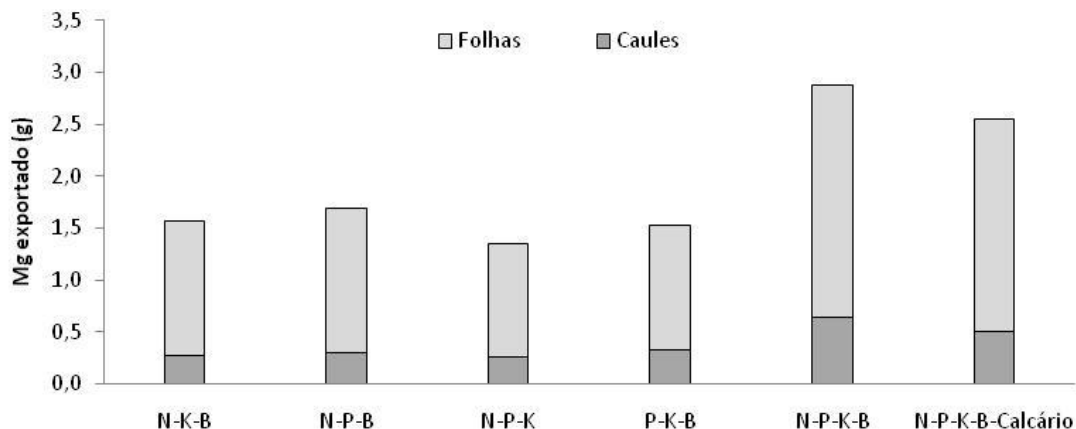


Figura 13. Magnésio exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

### 4.3.3. Micronutrientes exportados na lenha de poda

#### 4.3.3.1. Boro exportado na lenha de poda

Nos tratamentos completos (N-P-K-B e N-P-K-B-calcário) foi exportado mais boro que nos restantes, devido à maior quantidade de biomassa retirada. Os valores máximos exportados foram de 77,1 mg nas folhas e 11,0 mg nos caules (Figura 14). Deve registar-se também que, no tratamento fertilizante que levou calcário, a exportação de boro foi proporcionalmente mais elevada que a produção de biomassa. Estes resultados foram já comprovados também por outros investigadores. Por exemplo, Antoniadis *et al.* (2013) apresentam um estudo relativo ao efeito de absorção de boro por macieiras num solo ácido corrigido com calcário e que mostra um aumento significativo da absorção deste nutriente associado à correção de pH. Os autores justificam este aumento com a melhoria global das condições que afetam de forma positiva o acréscimo de biomassa. Assim, também neste caso, parece que a correção da acidez favoreceu só por si a absorção de boro. O tratamento sem boro exportou quantidades baixas de boro, com valores de 0,9 mg nas folhas e 0,3 mg nos caules. Estes valores refletem a redução drástica da concentração de boro nos tecidos que ocorreu no tratamento fertilizante sem boro.

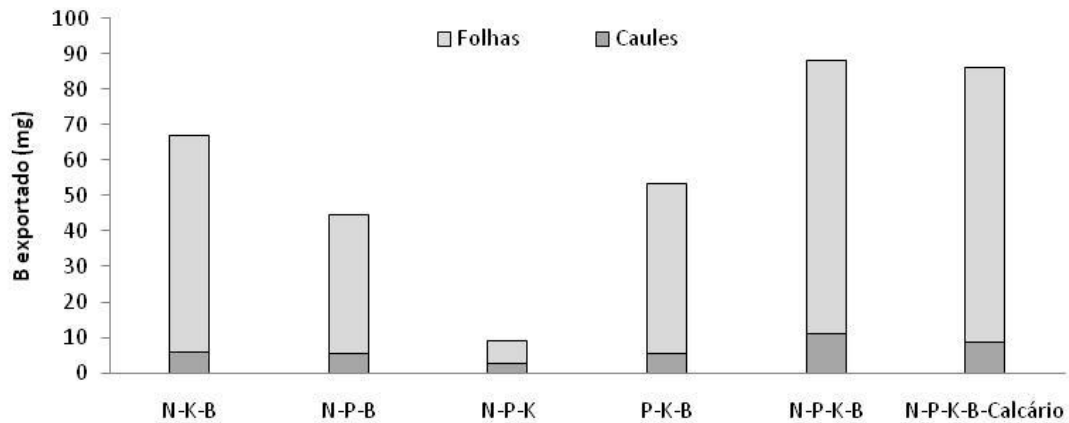


Figura 14. Boro exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

#### 4.3.3.2. Cobre, ferro, zinco e manganês exportados na lenha de poda

A exportação de cobre na lenha de poda parece ter sido mais ou menos proporcional à massa de lenha de poda (Figura 15), sendo que a concentração do nutriente nos tecidos variou pouco. No caso do ferro, ocorreram algumas alterações importantes (Figura 16). A correção da acidez aumentou a exportação de ferro, o que contraria o que seria de esperar, na medida em que o ferro fica indisponível com o aumento do pH do solo (Varenes, 2003, Santos, 2012). Por outro lado, a ausência de aplicação de fósforo parece ter favorecido a absorção de ferro. Para o zinco já se registou de novo um padrão de exportação proporcional à massa da lenha de poda (Figura 17), pelo que a concentração nos tecidos não foi muito diferente entre tratamentos. No caso do manganês, ocorreram resultados que também não eram de todo esperados. A aplicação de calcário deveria ter reduzido a absorção de manganês, tendo-se registado o contrário (Figura 18). Observou-se ainda que a não aplicação de boro parece ter favorecido a absorção de manganês. Para alguns destes nutrientes vão ser necessárias mais análises em futuras estações de crescimento no sentido de entender melhor como os tratamentos fertilizantes influenciam a sua absorção.

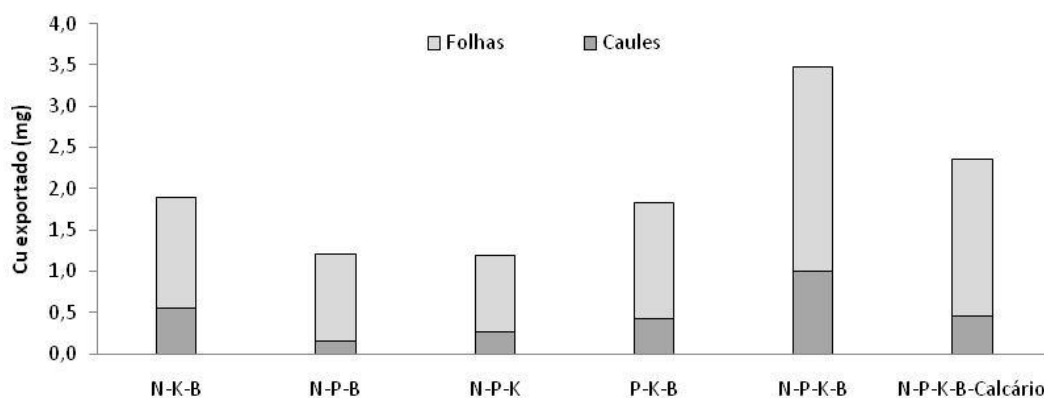


Figura 15. Cobre exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

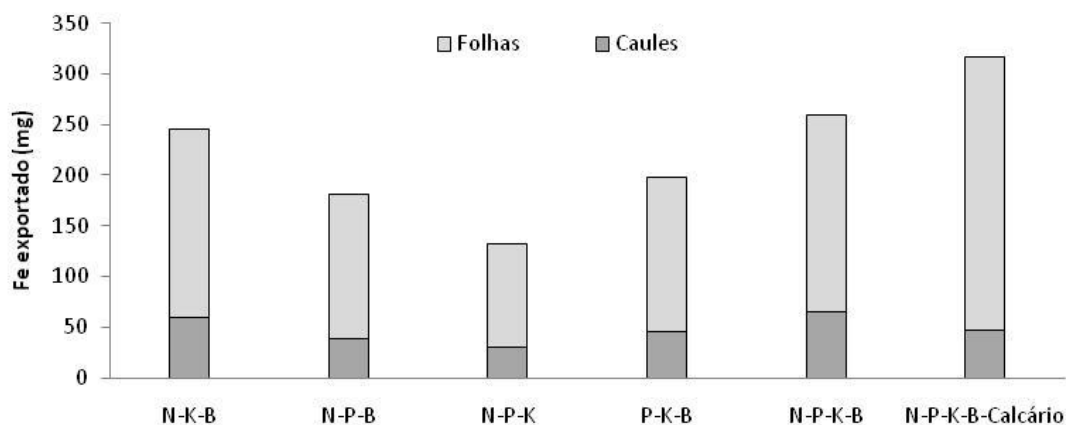


Figura 16. Ferro exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

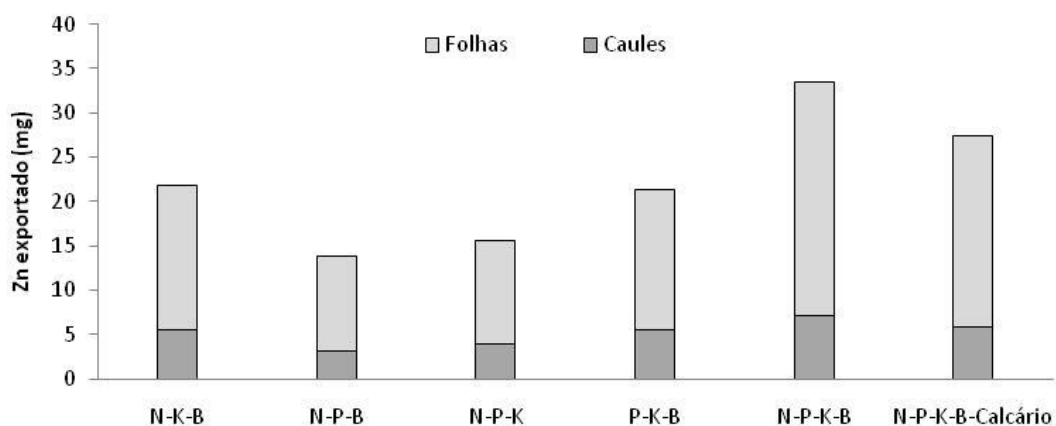


Figura 17. Zinco exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

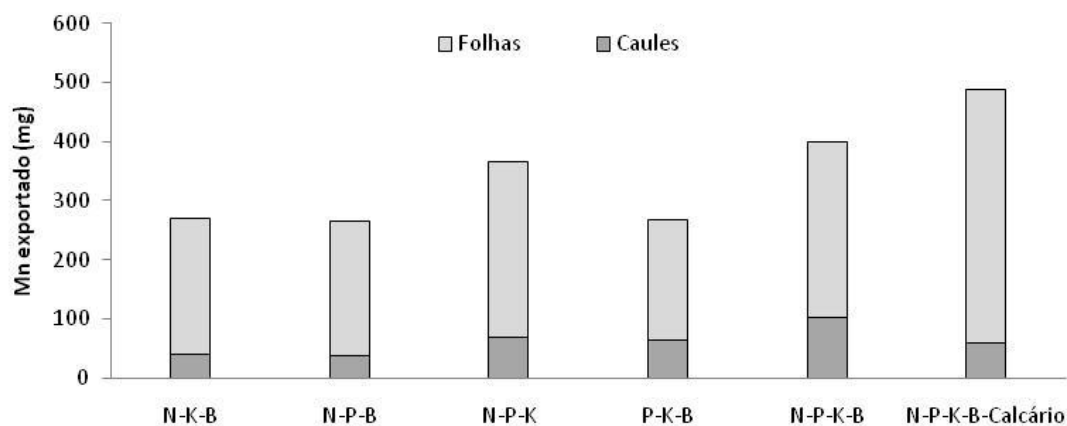


Figura 18. Manganês exportado na lenha de poda distribuído por folhas e caules nos diferentes tratamentos fertilizantes.

#### 4.4. Concentração de nutrientes nas folhas

Neste ponto vão ser apresentados os valores obtidos nas análises laboratoriais para determinação da concentração dos nutrientes nas folhas, quando analisadas as folhas jovens com os limbos expandidos.

##### 4.4.1. Concentração de macronutrientes nas folhas

###### 4.4.1.1. Concentração de azoto nas folhas

A concentração de azoto nas folhas foi mais baixa no tratamento fertilizante sem azoto (P-K-B), registando-se neste tratamento os valores médios de  $17,0 \text{ g kg}^{-1}$  (Figura 19). Contudo, os valores de concentração de azoto neste e nos restantes tratamentos são da ordem de grandeza dos que são apresentados por Perez-Cruzado *et al.* (2011). Perez-Cruzado *et al.* (2011), trabalhando com plantas jovens cultivadas em vasos até dois anos de idade, obtiveram valores de azoto nas folhas a variar entre 15 e  $25 \text{ g kg}^{-1}$ . Também Breisch (1995), sobre teores foliares em azoto no castanheiro em França, apresenta valores de concentração normal situados entre as 18 e as  $25 \text{ g kg}^{-1}$ .

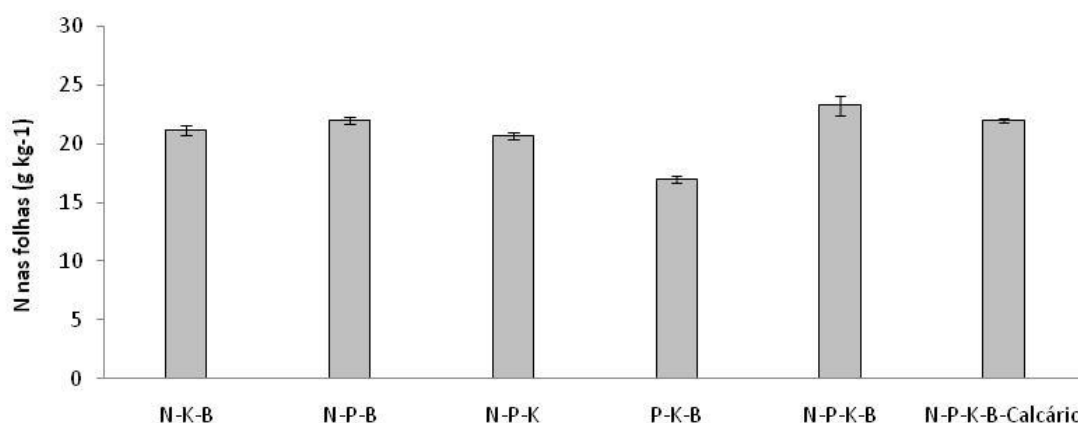


Figura 19. Concentração de azoto nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.1.2. Concentração de fósforo nas folhas

A concentração de fósforo nas folhas foi tendencialmente maior no tratamento N-P-K-B em comparação aos restantes tratamentos. Os valores da concentração de fósforo nas folhas neste tratamento foram de 1,5 g kg<sup>-1</sup>, os quais se encontram dentro da gama de valores apresentada por Perez-Cruzado *et al.* (2011) e por Breisch (1995).

No tratamento em que o fósforo esteve ausente (N-K-B), as concentrações foram mais baixas, designadamente 0,93 g kg<sup>-1</sup>. Este valor encontra-se abaixo da gama registada por Breisch (1995) e por Perez-Cruzado *et al.* (2011).

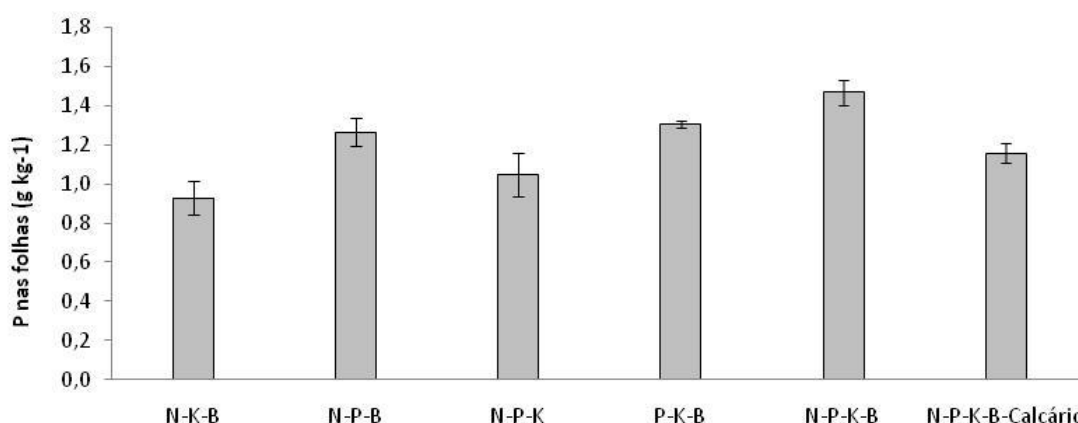


Figura 20. Concentração de fósforo nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.1.3. Concentração de potássio nas folhas

O tratamento em que as plantas apresentaram menor concentração de potássio nas folhas foi aquele em que o nutriente não foi aplicado como fertilizante (Figura 21). Neste tratamento foi registada uma concentração média de potássio nas folhas de 3,8 g kg<sup>-1</sup>. Breisch (1995) apresenta valores entre 6 e 10 g kg<sup>-1</sup>. Já Perez-Cruzado *et al.* (2011) referem concentrações de potássio nas folhas entre 8 a 13 g kg<sup>-1</sup>, sendo os valores obtidos neste trabalho bastante inferiores. O tratamento N-P-K-B-calcário foi aquele em que a concentração de potássio nas folhas foi mais elevada, com valor médio de 6,7 g kg<sup>-1</sup>. Este valor fica dentro dos apresentados por Breisch (1995) mas aquém dos que foram observados por Perez-Cruzado *et al.* (2011). É importante notar que o tratamento sem boro registou elevada concentração de potássio nas folhas. A razão deve ser atribuída a um fenómeno de diluição, isto é, como o tratamento sem boro foi o que produziu menos biomassa terá aumentado a concentração de potássio nas folhas, já que a sua disponibilidade no solo seria igual. O tratamento com cálcio produziu um resultado pouco coerente. Quando se aplicou calcário, os teores de potássio deveriam reduzir devido a fenómenos de antagonismo iónico. Contudo, só análises futuras poderão esclarecer também esta situação.

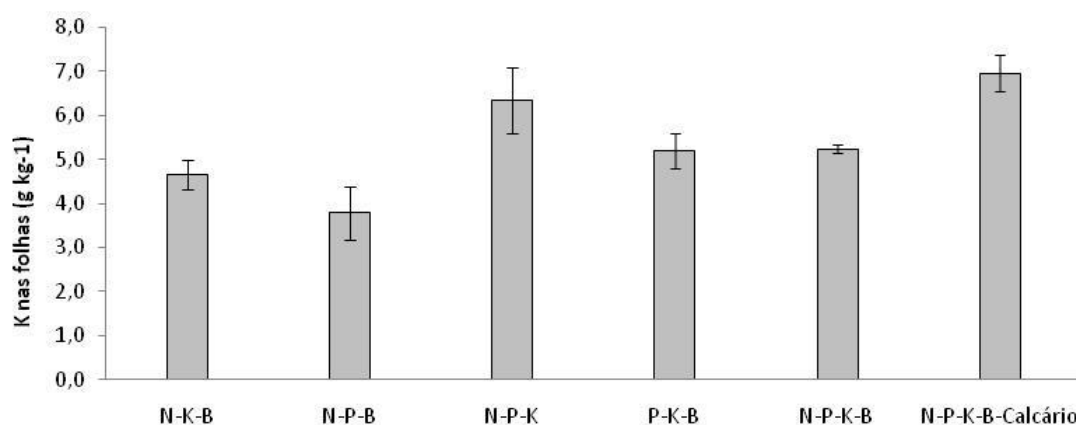


Figura 21. Concentração de potássio nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.1.4. Concentração de cálcio nas folhas

A concentração de cálcio nas folhas foi mais elevada no tratamento sem potássio. Neste tratamento foram registados valores médios de  $9,4 \text{ g kg}^{-1}$  (Figura 21). Perez-Cruzado *et al.* (2011) apresentam uma gama de concentrações mais baixas para este nutriente ( $5 \text{ a } 8 \text{ g kg}^{-1}$ ). Breisch (1995) classifica os valores normais situados entre  $8 \text{ e } 12 \text{ g kg}^{-1}$ . Os valores mais altos de cálcio no tratamento sem potássio podem justificar-se, mais uma vez, por antagonismo iónico entre os dois catiões, ou seja, quando o potássio é aplicado, aumenta a concentração deste catião na solução do solo o que origina dificuldades na absorção de cálcio. Estes fenómenos de antagonismo iónico estão bem documentados na literatura (Varennes, 2003, Santos, 2012).

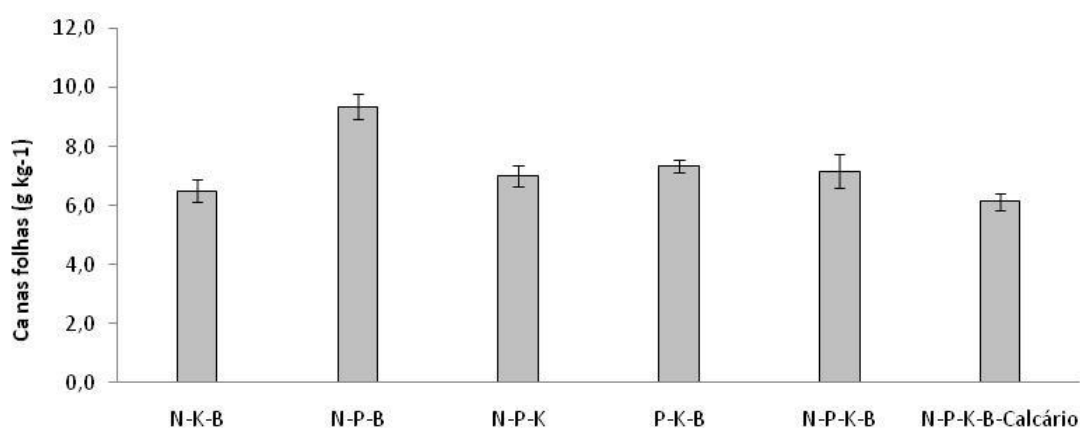


Figura 22. Concentração de cálcio nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.1.5. Concentração de magnésio nas folhas

Os valores mais elevados de magnésio nas folhas foram de  $4,2 \text{ g kg}^{-1}$ , registados no tratamento sem potássio (Figura 23). Perez-Cruzado *et al.* (2011) encontraram valores, para este nutriente, bastante mais baixos, variando entre  $1 \text{ a } 2 \text{ g kg}^{-1}$  e Breisch (1995) apresenta como valores normais  $2 \text{ a } 4 \text{ g kg}^{-1}$ . Tal como para o cálcio, os valores mais altos de magnésio no tratamento sem potássio serão devidos ao antagonismo iónico entre os catiões potássio e magnésio.

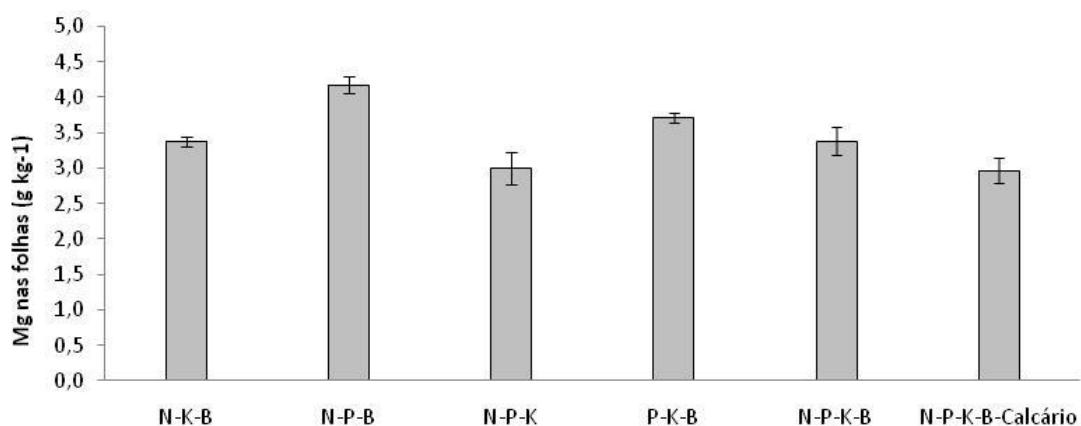


Figura 23. Concentração de magnésio nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.2. Concentração de micronutrientes nas folhas

##### 4.4.2.1. Concentração de boro nas folhas

Os valores de boro nas folhas estiveram acima de  $70 \text{ mg kg}^{-1}$  em todos os tratamentos, com exceção do tratamento sem boro (Figura 24). Neste último, a quebra de concentração de boro nas folhas foi abismal, registrando-se valores médios de apenas  $20,2 \text{ mg kg}^{-1}$ . Os valores de boro nos tecidos considerados normais apresentados por Breisch (1995) situam-se entre  $40$  e  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ . Sem dúvida nenhuma que o boro parece ser um problema nutricional importante no castanheiro, tal como evidenciaram os trabalhos de Portela e Louzada (2011, 2012) e Portela *et al.* (2011).

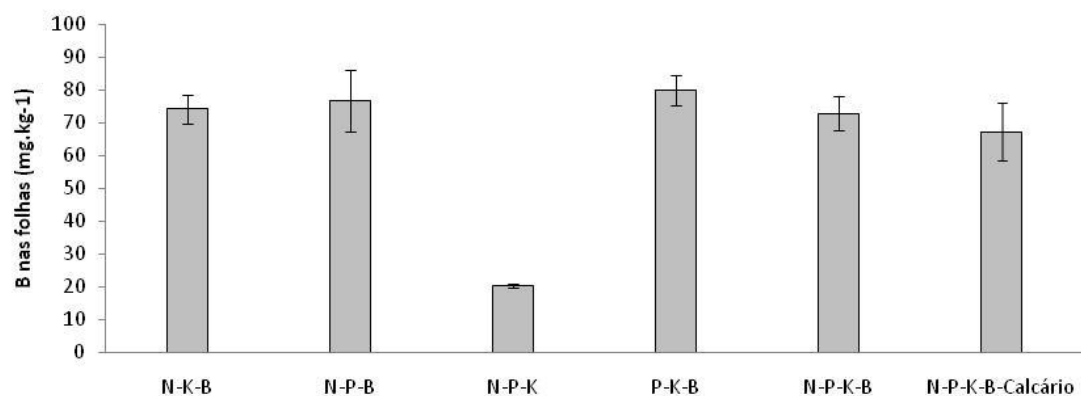


Figura 24. Concentração de boro nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.2.2. Concentração de cobre nas folhas

A concentração de cobre nas folhas variou de 1,0 a 3,0 mg kg<sup>-1</sup>, respetivamente nos tratamentos N-P-K e N-P-K-B (Figura 25). Se existe pouquíssima informação sobre os nutrientes principais no castanheiro, praticamente nada se encontra sobre estes micronutrientes metálicos. Porém, podem referir-se também os valores apresentados por Breisch (1995) para este micronutriente, situados entre 10 e 15 mg kg<sup>-1</sup>. Sendo assim, os valores obtidos neste trabalho são bastante inferiores. Sem explicação clara parece ser, de igual modo, o facto de o tratamento sem boro ter apresentado teores baixos de cobre nas folhas.

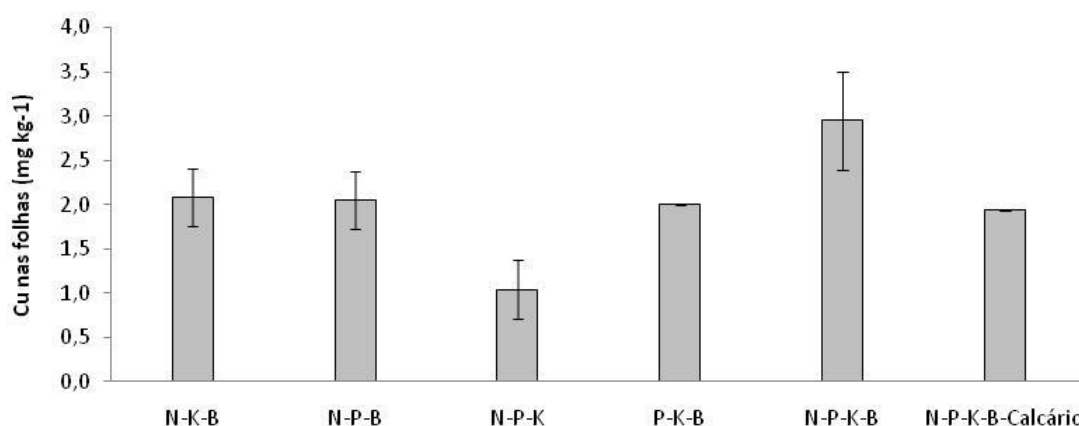


Figura 25. Concentração de cobre nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.2.3. Concentração de ferro nas folhas

As concentrações de ferro nas folhas variaram de 228,8 a 418,9 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 26). O tratamento com calcário apresentou os valores mais baixos e o tratamento N-P-K-B os valores mais elevados. Estes resultados estão em concordância com a diminuição da disponibilidade de ferro no solo quando se procede à aplicação de calcário (Havlin *et al.*, 2005). Citando ainda o trabalho de Breisch (1995), os valores normais apresentados por este autor variam entre 60 e 100 mg kg<sup>-1</sup>. No entanto, os solos desta região possuem muito ferro proveniente da desagregação da rocha mãe (rochas ferromagnesianas), pelo que a absorção deste elemento pelas culturas é normalmente mais elevada do que em outras zonas do país (Sequeira e Silva, 1992).

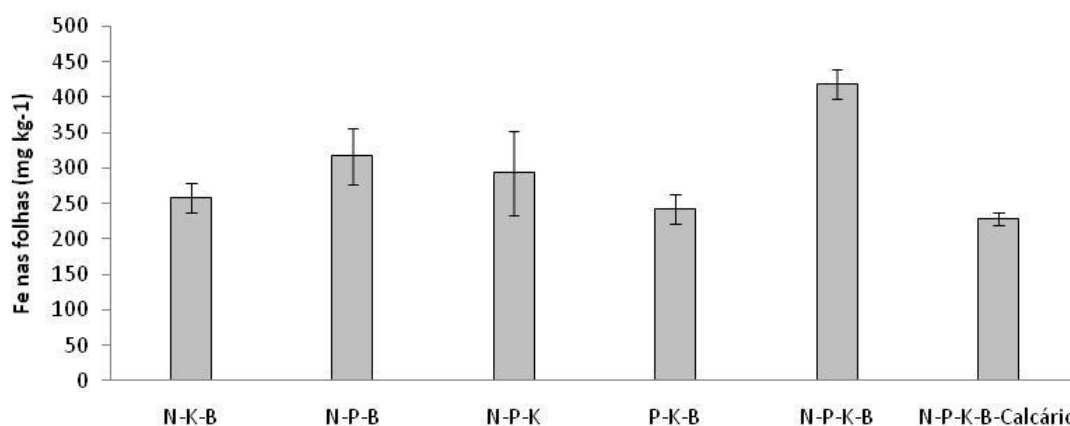


Figura 26. Concentração de ferro nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.2.4. Concentração de zinco nas folhas

A concentração de zinco nas folhas variou de 15,6 a 25,7 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 27). Este nutriente parece ter seguido a distribuição do ferro nas folhas. O tratamento P-K-B registou os valores mais baixos e o tratamento N-P-K-B os valores mais elevados. De qualquer forma encontram-se na gama dos valores normais de zinco nas folhas de castanheiro, apresentados por Breisch (1995), situados entre os 25 e 35 mg kg<sup>-1</sup>.

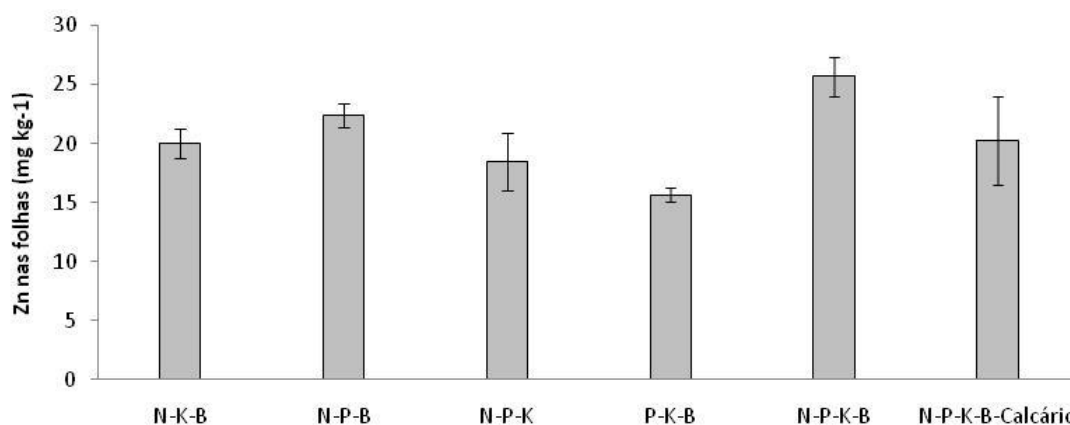


Figura 27. Concentração de zinco nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.4.2.5. Concentração de manganês nas folhas

A concentração de manganês nas folhas variou entre 378,0 e 878,2 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 28). Os valores mais elevados foram registados no tratamento N-P-K e os valores mais baixos no tratamento N-P-B. Aqui, o tratamento sem boro apresenta os valores mais elevados, eventualmente devido a um efeito de concentração, tal como já referido para outros nutrientes, devido a serem as plantas com menor crescimento. Este é um elemento cuja concentração nos tecidos pode ser muito variável. Breisch (1995) apresenta valores considerados normais para este micronutriente entre as 300 e as 1000 mg kg<sup>-1</sup>.

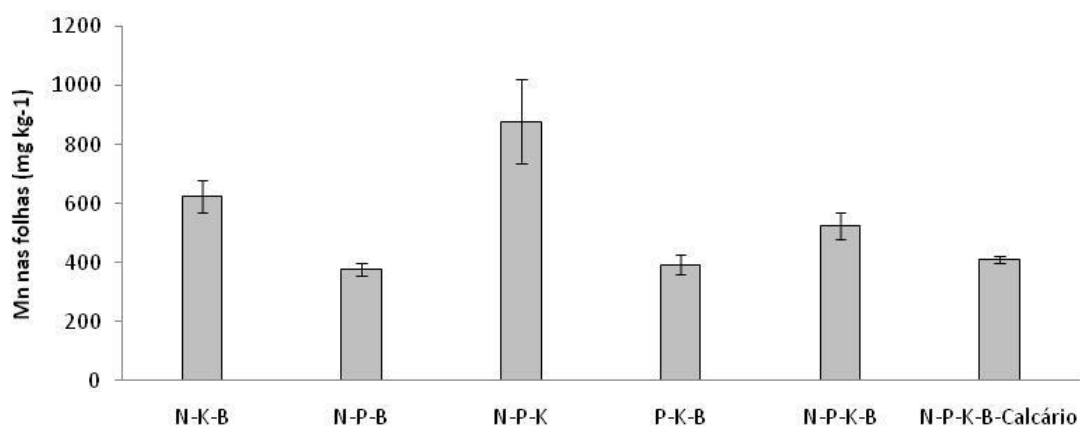


Figura 28. Concentração de manganês nas folhas expressa na matéria seca na amostragem de junho de 2014.

#### 4.5. Teor de clorofila nas folhas

As leituras realizadas com o medidor de clorofila portátil SPAD-502 Plus mostraram uma ligeira quebra no tratamento sem azoto (P-K-B), sobretudo na segunda data de amostragem em junho (Figura 29). Este resultado reflete o facto dos valores de clorofila SPAD serem sobretudo indicadores do estado nutritivo azotado.

O medidor de clorofila SPAD-502 tem sido utilizado com sucesso em diversas culturas como indicador do estado nutricional azotado (Rodrigues, 2000), na medida em que, a maior parte do azoto das células se encontra na molécula de clorofila (Lopez-Cantarero et al., 1994).

Ao longo da estação de crescimento e de forma idêntica em todos os tratamentos, os valores SPAD foram aumentando. Este resultado reflete o facto de as

folhas adquirirem um mesófilo mais espesso e ficarem mais coriáceas ao longo do verão devido à intensidade da radiação recebida e ao aumento da demanda evaporativa, originando valores SPAD mais elevados que os das folhas mais tenras de primavera.

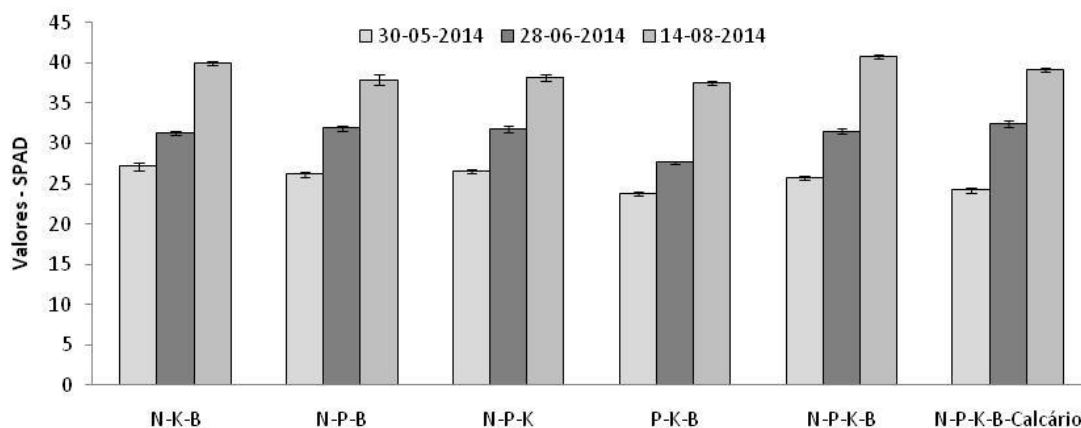


Figura 29. Estimativas do teor de clorofila nas folhas medidas com o aparelho portátil SPAD-502 Plus em maio, junho e agosto de 2014.

#### 4.6. Índice de vegetação NDVI

As leituras efetuadas com o aparelho portátil FieldScout CM 1000 mostraram elevada variabilidade entre tratamentos e, dentro de cada tratamento, entre datas de amostragem (Figura 30). Numa observação conjunta às três datas de amostragem, nota-se uma depressão no tratamento sem azoto (P-K-B), sobretudo devido às leituras da segunda e terceira datas de amostragem. Assim, tal como o SPAD, o NDVI parece ser sobretudo um indicador de estado nutritivo azotado das plantas.

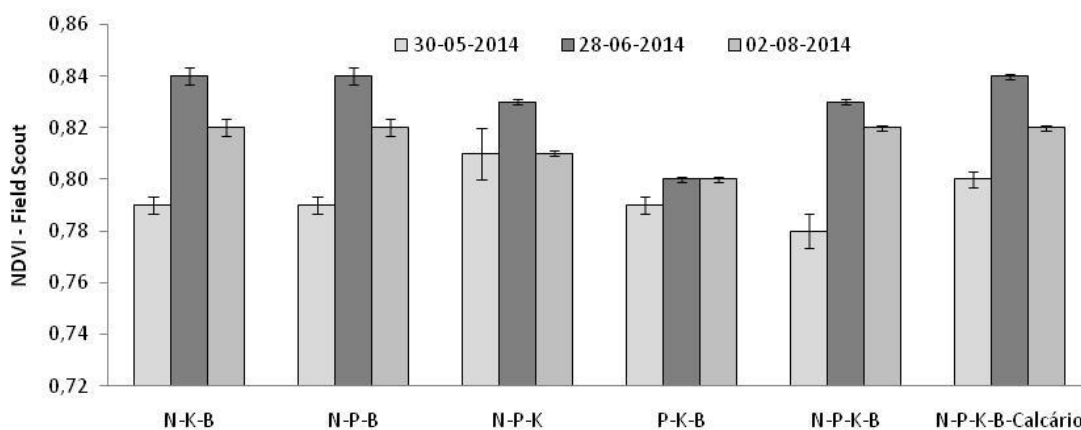


Figura 30. Índice de vegetação NDVI determinado com o aparelho portátil FieldScout CM 1000 em maio, junho e agosto de 2014.

## **5. CONCLUSÕES**

O tratamento completo (N-P-K-B-Calcário) originou plantas tendencialmente mais altas que os restantes tratamentos, sugerindo um eventual contributo positivo de todos os nutrientes.

O boro foi, individualmente, o elemento que mais penalizou a performance das árvores, avaliada pela altura das plantas e diâmetro do tronco, mostrando que pode ser um elemento a ter em conta no plano de fertilização desde o início da instalação do souto.

A concentração de cada um dos nutrientes nas folhas foi tendencialmente menor no tratamento em que não foi aplicado como fertilizante. A concentração de boro nas folhas no tratamento sem boro foi particularmente baixa, o que pode ajudar a explicar a menor performance das árvores neste tratamento.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Agroconsultores e Coba. (1991) – Carta dos solos, carta do uso actual da terra e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal. Lisboa: UTAD.
- Alloway, B.J. (2008) – Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production. Springer. 353 pp.
- Anon. (2009). FieldScout CM 1000 NDVI meter. Product Manual. Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL, USA:
- Antoniadis, V.; Chatzissavvidis, C. and Paparnakis, A. (2013) – Boron behavior in apple plants in acidic and limed soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2013, 176: 267–272.
- Breisch, H. (1995). Châtaignes et Marrons. CTIFL. Paris. INRA.
- Bremner, J.M. (1996) – Nitrogen – Total. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods. SSSA Book Series:5.* p 1085- 1121.
- Brio, M.B.D.; Lancho, J.F.G.; Herrero, J.M.C. (1998) – El Castanho. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Costa, J.B. (1995) – Caracterização e constituição do solo (5ª ed.). Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian/IPMA (2014).
- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. (2005) – *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*, 2nd ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Hawkesford, M.J. (2012) – Improving Nutrient Use Efficiency in Crops. In: eLS. John Wiley & Sons Ltd, Chichester. <http://www.els.net>
- Haynes, R.J. (1982) – Effects of liming on phosphate availability in acid soils *Plant and Soil* 68, 289-308
- IPMA (2014) – Boletim Climatológico Mensal: Portugal continental, Setembro de 2014. Lisboa: Instituto português do mar e da atmosfera.
- Jones, J.J. (2001) – *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. . London, New York, Washington, DC: CRC Press, Boca Raton.
- Laranjo, J.G.; Peixoto, F.; Cardozo, J.F. (2009) – Castanheiro, Técnicas e Práticas, Pupilo Consulting – Industria Criativa & Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Lopez-Cantarero, I.; Lorente, F.A.; Romero, L. (1994) – Are chlorophylls good indicators of nitrogen and phosphorus levels? *J. Plant Nutr.* 17 (6): 979-990.

- MAP (1977) – Ministério da Agricultura e Pescas, Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva. Sector Fertilidade do Solo. Documentação 2. D.G.S.A. – Divulgação.
- Mateus, C.M.D'A. (2011) – Exportação de nutrientes pela grama bermuda, TIFDWARF utilizada em GREENS de campos de golf. Tese de Doutoramento. Universidade Estadual Paulista, Brasil. 72 p.
- Mengel, K.; Kirkby, Ernest A.; Kosegarten, H. (2001) – Principles of Plant Nutrition. Mengel, E.A. Kirkby, H. Kosegarten, T. Appel (eds.) – Principles of Plant Nutrition-Springer Netherlands.
- Paiva, J.A. (2007) – (v.a.), Árvores e florestas de Portugal do castanheiro ao teixo - As outras espécies florestais. Tipografia Peres, SA, Lisboa.
- Perez-Cruzado, C.; Solla-Gullón, F.; Merino, A.; Rodríguez-Soalleiro, R. (2011) – Analysis of growth and nutrition of a young *Castanea X coudercii* plantation after application of wood-bark ash. *Eur J Forest Res* (2011) 130:209–217.
- Portela, E.M.; Ferreira-Cardoso, J.V.; Louzada, J.L. (2011) – Boron application on a chestnut orchard: effect on yield and quality of nuts. *Journal of Plant Nutrition*, 34:1245–1253.
- Portela, E.; Louzada, J. (2011) – Diagnóstico precoce da carência de boro em castanheiro: seleção de tecido indicador. *Revista de ciências agrárias* – 2011, Vol. XXXIV, 2:13-20.
- Portela, E.M.; Louzada, J.L. (2012) – Early diagnosis of boron deficiency in Chestnut. *Journal of Plant Nutrition*, 35:304–310, 2012.
- Rodrigues, M.R. (2000) – Gestão do azoto na cultura da batata: Estabelecimento de indicadores do estado nutritivo das plantas e da disponibilidade de azoto no solo. Tese de doutoramento. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 329 p.
- Rodrigues, M.A.; Arrobas, M. (2008) – Effect of soil boron application on flower bud and leaf boron concentrations of olives. *Acta Horticulturae*, 791: 393-396.
- Rodrigues, M.A.; Pavão, F.M.; Lopes, J.I.; Gomes, V.; Arrobas, M.; Pereira, J.M.; Ruivo, R.; Cabanas, J.E.; & Correia, C.M. (2011) – Olive Yields and Tree Nutritional Status during a Four-Year Period without Nitrogen and Boron Fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:803-814, 2011.
- Rodrigues, M.A.; Lopes, J.I.; Pavão, F.M.; Cabanas, J.E.; Arrobas, M. (2011) – Effect of soil management on olive yield and nutritional status of trees in rainfed orchards. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 42: 993-2011.

- Santos, J.Q. (1996) – Fertilização. Fundamentos da utilização dos Adubos e Corretivos. 2ª ed., Publicações Europa-América.
- Santos, J.Q. (2012) – Fertilização. Fundamentos da utilização dos adubos e corretivos. 4ª ed. Publicações Europa-América.
- Schepers, J.S.; Francis, D.D.; Vigil, M.; Below, F.E. (1992) – Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23 (17-20): 2173-2187.
- Sequeira, E.M.; Silva, A.R.P. (1992) – Ecology of serpentinezed áreas of north-east Portugal. In: B.A. Roberts e J. Proctor (Eds). *The ecology of areas with serpentinized rocks. A world view.* 169-197. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Serrano, J.F.; Fernández, P.J.S.; Rodríguez, J.A.S.; Gutiérrez, F.J.P.; Martínez, P.M. (2001) – *El Castaño – Manual y Guía Didáctica.* Irma, S.L., León.
- Van Reeuwijk, L.P. (2002) – *Procedures for soil analysis. Technical Paper 9 (Sixth ed.).* ISRIC, FAO of the United Nations.
- Varenes, A.d. (2003) – *Produtividade dos solos e Ambiente (1a ed.).* Lisboa: Editora escolar.