

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

**RESPOSTA DA TREMOCILHA (*Lupinus luteus* L.) À CALAGEM E
SUAS INTERACÇÕES COM AS DISPONIBILIDADES DE FERRO E
MANGANÊS NO SOLO.**

João Nicolau Cortesão Pais Goulão

**CURSO DE MESTRADO EM NUTRIÇÃO VEGETAL, FERTILIDADE
DOS SOLOS E FERTILIZAÇÃO**

LISBOA 1993

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

RESPOSTA DA TREMOCILHA (*Lupinus luteus* L.) À CALAGEM E SUAS INTERACÇÕES COM AS DISPONIBILIDADES DE FERRO E MANGANÊS NO SOLO.

João Nicolau Cortesão Pais Goulão

Dissertação apresentada para efeito
de obtenção do grau de mestre

**CURSO DE MESTRADO EM NUTRIÇÃO VEGETAL, FERTILIDADE
DOS SOLOS E FERTILIZAÇÃO**

LISBOA 1993

À memória do meu pai.

Ao meu filho.

AGRADECIMENTOS

- À Prof^a Fernanda Cabral pelo acompanhamento e orientação do trabalho experimental e pela revisão da dissertação.

- Aos Professores Quelhas dos Santos e Ernesto Vasconcelos pelos bons conselhos que foram dando ao longo do trabalho que levou à produção desta dissertação.

- Ao Prof. Bruno de Sousa pela bibliografia cedida.

- Ao Eng^o Falcão, ao Domingos e ao Zé pela preciosa ajuda na condução do ensaio.

- À D^a Isabel Carvalho, à D^a Graça Sanches e ao Sr. Carlos Freire e restante pessoal do Laboratório de Química Agrícola do I.S.A. pela realização das análises.

- À Escola Superior Agrária de Castelo Branco, pelas facilidades concedidas.

- Ao Filipe, ao Fernando, ao João Paulo, ao Pedro, ao Zé, ao Celestino e ao Rui que, na E.S.A.C.B., muito me ajudaram com os computadores e com o tratamento estatístico.

- Ao Eng^o Nuno Cortez pela descrição especializada do perfil do solo e ao Prof. Carlos Arruda pela determinação das constantes de humidade.

- Ao Prof. João Neves Martins pela cedência das sementes.

- Ao Eng^o Ilídio Tomás pela disponibilidade que mostrou no acompanhamento fitopatológico.

- Ao Laboratório Rebelo da Silva pela moenda das plantas.

Resumo

A tremocilha é uma espécie forrageira cultivada em Portugal, não só com a intenção de aproveitar o seu potencial melhorador dos solos, como também, e principalmente neste momento, para alimentação de gado, sobretudo ovino, em sistemas de exploração extensivos. Neste estudo pretendeu-se estudar as produções de matéria seca da tremocilha à floração, e em restolho. O solo utilizado nos vasos foi um solo litólico não húmico (Pg), ácido, pobre em manganês e medianamente provido em ferro, da região de Castelo Branco, a que se fez/não fez a aplicação individual e conjunta de ferro e manganês com/sem correcção da acidez do solo. Concluiu-se que a calagem reduziu a produção de matéria seca à floração mas aumentou-a na maturação. O ferro e o manganês adicionados afectaram favoravelmente a produção à floração mas prejudicaram-na à maturação. O manganês aplicado aumentou o seu teor nas plantas, contrariamente ao que sucedeu com o ferro. A calagem aumentou a disponibilidade de manganês, mas reduziu a sua absorção a níveis considerados de deficiência. A disponibilidade de ferro foi reduzida pela calagem mas a absorção foi favorecida. O ferro e o manganês aumentaram mutuamente a sua disponibilidade no solo mas tiveram efeitos antagónicos na respectiva absorção.

Palavras-chave: tremocilha, calagem, ferro, manganês, produção, absorção, disponibilidade.

Abstract

The *Lupinus luteus* L. species, known in Portugal as "tremocilha", is grown in this country not only to improve soil fertility, but also and mainly to feed sheep in extensive farm systems. In this work, it was intended to study the yields of dry matter at the flowering and the stubble stages, when we applied/didn't apply iron and manganese alone or together, with/without acidity correction in an acid dystic cambisol, poor in manganese and with a medium content of iron. It was concluded that liming reduced dry matter yield at the flowering stage but increased it at the mature stage. The iron and manganese supplied increased the yield at the flowering stage but reduced it in the end of the cycle. Manganese increased its concentration in plants in opposition to what happened with iron. Liming favoured manganese availability in soil but reduced its consumption to levels of deficiency. With iron, it had an opposite effect. Iron and manganese favoured reciprocally their availability but they antagonized each other in their absorption.

Keywords: yellow lupine, liming, iron, manganese, yield, absorption, availability.

Glossário

Cal. - calagem

Fe - ferro

k inst. - constante de instabilidade

Mn - manganês

P.A.C. - Política Agrícola Comum

Índice Geral

| | Pag. |
|--|------|
| Introdução | 1 |
| CAPÍTULO 1 - OS <i>LUPINUS</i>: INTERACÇÕES SOLO-PLANTA | 4 |
| 1.1. - Os <i>Lupinus</i> e a reacção do solo | 4 |
| 1.1.1. - A calagem | 4 |
| 1.1.2. - A clorose | 5 |
| 1.1.3. - A nodulação | 6 |
| 1.2. - Os <i>Lupinus</i> o ferro e o manganês | 9 |
| 1.2.1. - Generalidades | 9 |
| 1.2.2. - Absorção e translocação do ferro e manganês pelos <i>Lupinus</i> | 14 |
| 1.2.3. - O ferro, o manganês e a actividade enzimática | 20 |
| 1.2.4. - O ferro e o manganês na nutrição animal | 20 |
| CAPÍTULO 2 - PARTE EXPERIMENTAL | 22 |
| 2.1. - Material e métodos | 22 |
| 2.2. - Resultados e respectiva análise | 27 |
| 2.2.1. - Produção de matéria seca nas fases de floração e maturação (sem vagens) | 27 |
| 2.2.2. - Análise das terras da colheita à floração | 29 |
| 2.2.2.1. - Matéria orgânica | 29 |
| 2.2.2.2. - Azoto total | 30 |
| 2.2.2.3. - Fósforo assimilável | 31 |
| 2.2.2.4. - Potássio assimilável | 32 |
| 2.2.2.5. - pH em água | 33 |
| 2.2.2.6. - pH em cloreto de potássio | 34 |
| 2.2.2.7. - Hidrogénio de troca | 35 |
| 2.2.2.8. - Cálcio de troca | 36 |
| 2.2.2.9. - Magnésio de troca | 37 |
| 2.2.2.10. - Potássio de troca | 38 |
| 2.2.2.11. - Sódio de troca | 39 |
| 2.2.2.12. - Ferro extraível | 40 |
| 2.2.2.13. - Manganês extraível | 41 |
| 2.2.2.14. - Cobre extraível | 42 |
| 2.2.2.15. - Zinco extraível | 43 |
| 2.2.3. - Análise de terras à maturação das plantas | 44 |
| 2.2.3.1. - Matéria orgânica | 44 |
| 2.2.3.2. - Azoto total | 45 |
| 2.2.3.3. - Fósforo assimilável | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 2.2.3.4. - Potássio assimilável | 47 |
| 2.2.3.5. - pH em água | 48 |
| 2.2.3.6. - pH em cloreto de potássio | 49 |
| 2.2.3.7. - Hidrogénio e Bases de troca | 50 |
| 2.2.3.8. - Ferro extraível | 50 |
| 2.2.3.9. - Manganês extraível | 51 |
| 2.2.3.10. - Cobre extraível | 52 |
| 2.2.3.11. - Zinco extraível | 53 |
| 2.2.4. - Análise de plantas à floração | 54 |
| 2.2.4.1. - Azoto total | 54 |
| 2.2.4.2. - Fósforo | 55 |
| 2.2.4.3. - Potássio | 56 |
| 2.2.4.4. - Cálcio | 57 |
| 2.2.4.5. - Magnésio | 58 |
| 2.2.4.6. - Sódio | 59 |
| 2.2.4.7. - Ferro | 60 |
| 2.2.4.8. - Manganês | 61 |
| 2.2.4.9. - Cobre | 62 |
| 2.2.4.10. - Zinco | 63 |
| 2.2.5. - Análise de plantas à maturação | 64 |
| 2.2.5.1. - Azoto total | 64 |
| 2.2.5.2. - Fósforo | 65 |
| 2.2.5.3. - Potássio | 66 |
| 2.2.5.4. - Cálcio | 67 |
| 2.2.5.5. - Magnésio | 68 |
| 2.2.5.6. - Sódio | 69 |
| 2.2.5.7. - Ferro | 70 |
| 2.2.5.8. - Manganês | 71 |
| 2.2.5.9. - Cobre | 72 |
| 2.2.5.10. - Zinco | 73 |
| 2.3. - Discussão dos resultados | 74 |
| 2.3.1. - Produção de matéria seca | 74 |
| 2.3.2. - Análise de terras e plantas na fase de floração | 74 |
| 2.3.3. - Análise de terras e plantas na fase de maturação | 76 |
| CAPÍTULO 3: CONCLUSÕES GERAIS E COMENTÁRIO FINAL | 80 |
| 3.1. - Conclusões gerais | 80 |
| 3.2. - Comentário final | 82 |
| Bibliografia | 83 |

Anexo I: Tabela de médias dos valores da produção de matéria seca nas fases de floração e maturação (sem vagens)

Anexo II: Tabelas de médias dos valores dos parâmetros analisados no solo nas fases de floração e maturação

- II-1. - Matéria orgânica
- II-2. - Azoto total
- II-3. - Fósforo assimilável
- II-4. - Potássio assimilável
- II-5. - pH em água
- II-6. - pH em cloreto de potássio
- II-7. - Hidrogénio de troca
- II-8. - Cálcio de troca
- II-9. - Magnésio de troca
- II-10. - Potássio de troca
- II-11. - Sódio de troca
- II-12. - Ferro extraível
- II-13. - Manganês extraível
- II-14. - Cobre extraível
- II-15. - Zinco extraível

Anexo III: Tabelas de médias dos valores dos parâmetros analisados nas plantas nas fases de floração e maturação

- III-1. - Azoto total
- III-2. - Fósforo
- III-3. - Potássio
- III-4. - Cálcio
- III-5. - Magnésio
- III-6. - Sódio
- III-7. - Ferro
- III-8. - Manganês
- III-9. - Cobre
- III-10. - Zinco

Anexo IV: Alguns registos acerca do sistema radicular e do peso de sementes

Índice de quadros

| | Pág. |
|--|------|
| Análise de terras à floração | |
| Quadro 2.1 - Valores médios das modalidades para a Matéria seca (g). | 27 |
| Quadro 2.2 - Análise de variância da Matéria seca | 28 |
| Quadro 2.3 - Valores médios das modalidades para a Matéria orgânica (%). | 29 |
| Quadro 2.4 - Análise de variância da Matéria orgânica | 29 |
| Quadro 2.5 - Valores médios das modalidades para o Azoto total (%). | 30 |
| Quadro 2.6 - Análise de variância do Azoto total | 30 |
| Quadro 2.7 - Valores médios das modalidades para o Fósforo assimilável (mg.kg ⁻¹ de P ₂ O ₅). | 31 |
| Quadro 2.8 - Análise de variância do Fósforo assimilável | 31 |
| Quadro 2.9 - Valores médios das modalidades para o Potássio assimilável (mg.kg ⁻¹ de K ₂ O). | 32 |
| Quadro 2.10 - Análise de variância do Potássio assimilável | 32 |
| Quadro 2.11 - Valores médios das modalidades para o pH_(H2O) | 33 |
| Quadro 2.12 - Análise de variância do pH_(H2O) | 33 |
| Quadro 2.13 - Valores médios das modalidades para o pH_(KCl) | 34 |
| Quadro 2.14 - Análise de variância do pH_(KCl) | 34 |
| Quadro 2.15 - Valores médios das modalidades para o Hidrogénio de troca (Cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹). | 35 |
| Quadro 2.16 - Análise de variância do Hidrogénio de troca | 35 |
| Quadro 2.17 - Valores médios das modalidades para o Cálcio de troca (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹). | 36 |
| Quadro 2.18 - Análise de variância do Cálcio de troca | 36 |
| Quadro 2.19 - Valores médios das modalidades para o Magnésio de troca (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹). .. | 37 |
| Quadro 2.20 - Análise de variância do Magnésio de troca | 37 |
| Quadro 2.21 - Valores médios das modalidades para o Potássio de troca (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹). | 38 |
| Quadro 2.22 - Análise de variância do Potássio de troca | 38 |
| Quadro 2.23 - Valores médios das modalidades para o Sódio de troca (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹). | 39 |
| Quadro 2.24 - Análise de variância do Sódio de troca | 39 |
| Quadro 2.25 - Valores médios das modalidades para o Ferro extraível (mg.kg ⁻¹). | 40 |
| Quadro 2.26 - Análise de variância do Ferro extraível | 40 |
| Quadro 2.27 - Valores médios das modalidades para o Manganês extraível (mg.kg ⁻¹). | 41 |
| Quadro 2.28 - Análise de variância do Manganês extraível | 41 |
| Quadro 2.29 - Valores médios das modalidades para o Cobre extraível (mg.kg ⁻¹). | 42 |
| Quadro 2.30 - Análise de variância do Cobre extraível | 42 |
| Quadro 2.31 - Valores médios das modalidades para o Zinco extraível (mg.kg ⁻¹). | 43 |
| Quadro 2.32 - Análise de variância do Zinco extraível | 43 |

Análise de terras à maturação

| | |
|---|----|
| Quadro 2.33 - Valores médios das modalidades para a Matéria orgânica (%) | 44 |
| Quadro 2.34 - Análise de variância da Matéria orgânica | 44 |
| Quadro 2.35 - Valores médios das modalidades para o Azoto total (%) | 45 |
| Quadro 2.36 - Análise de variância do Azoto total | 45 |
| Quadro 2.37 - Valores médios das modalidades para o Fósforo assimilável (mg.kg⁻¹ de P₂O₅) | 46 |
| Quadro 2.38 - Análise de variância do Fósforo.assimilável | 46 |
| Quadro 2.39 - Valores médios das modalidades para o Potássio assimilável (mg.kg⁻¹ de K₂O) | 47 |
| Quadro 2.40 - Análise de variância do Potássio.assimilável | 47 |
| Quadro 2.41 - Valores médios das modalidades para o pH_(H₂O) | 48 |
| Quadro 2.42 - Análise de variância do pH_(H₂O) | 48 |
| Quadro 2.43 - Valores médios das modalidades para o pH_(KCl) | 49 |
| Quadro 2.44 - Análise de variância do pH_(KCl) | 49 |
| Quadro 2.45 - Valores médios das modalidades para o Ferro extraível (mg.kg⁻¹) | 50 |
| Quadro 2.46 - Análise de variância do Ferro.extraível | 50 |
| Quadro 2.47 - Valores médios das modalidades para o Manganês extraível (mg.kg⁻¹) | 51 |
| Quadro 2.48 - Análise de variância do Manganês.extraível | 51 |
| Quadro 2.49 - Valores médios das modalidades para o Cobre extraível (mg.kg⁻¹) | 52 |
| Quadro 2.50 - Análise de variância do Cobre extraível | 52 |
| Quadro 2.51 - Valores médios das modalidades para o Zinco extraível (mg.kg⁻¹) | 53 |
| Quadro 2.52 - Análise de variância do Zinco extraível | 53 |

Análise de plantas à floração

| | |
|---|----|
| Quadro 2.53 - Valores médios das modalidades para o Azoto total (%) | 54 |
| Quadro 2.54 - Análise de variância do Azoto total | 54 |
| Quadro 2.55 - Valores médios das modalidades para o Fósforo (% da matéria seca) | 55 |
| Quadro 2.56 - Análise de variância do Fósforo | 55 |
| Quadro 2.57 - Valores médios das modalidades para o Potássio (% da matéria seca) | 56 |
| Quadro 2.58 - Análise de variância do Potássio | 56 |
| Quadro 2.59 - Valores médios das modalidades para o Cálcio (% da matéria seca) | 57 |
| Quadro 2.60 - Análise de variância do Cálcio | 57 |
| Quadro 2.61 - Valores médios das modalidades para o Magnésio (% da matéria seca) | 58 |
| Quadro 2.62 - Análise de variância do Magnésio | 58 |
| Quadro 2.63 - Valores médios das modalidades para o Sódio (% da matéria seca) | 59 |
| Quadro 2.64 - Análise de variância do Sódio | 59 |
| Quadro 2.65 - Valores médios das modalidades para o Ferro (mg.kg⁻¹ de matéria seca) | 60 |
| Quadro 2.66 - Análise de variância do Ferro | 60 |

| | |
|--|----|
| Quadro 2.67 - Valores médios das modalidades para o Manganês (mg.kg ⁻¹ de matéria seca). | 61 |
| Quadro 2.68 - Análise de variância do Manganês . | 61 |
| Quadro 2.69 - Valores médios das modalidades para o Cobre (mg.kg ⁻¹ de matéria seca). | 62 |
| Quadro 2.70 - Análise de variância do Cobre . | 62 |
| Quadro 2.71 - Valores médios das modalidades para o Zinco (mg.kg ⁻¹ da matéria seca). | 63 |
| Quadro 2.72 - Análise de variância do Zinco . | 63 |
| Análise de plantas à maturação | |
| Quadro 2.73 - Valores médios das modalidades para o Azoto Total (% da matéria seca). | 64 |
| Quadro 2.74 - Análise de variância do Azoto total . | 64 |
| Quadro 2.75 - Valores médios das modalidades para o Fósforo (% da matéria seca). | 65 |
| Quadro 2.76 - Análise de variância do Fósforo . | 65 |
| Quadro 2.77 - Valores médios das modalidades para o Potássio (% da matéria seca). | 66 |
| Quadro 2.78 - Análise de variância do Potássio . | 66 |
| Quadro 2.79 - Valores médios das modalidades para o Cálcio (% da matéria seca). | 67 |
| Quadro 2.80 - Análise de variância do Cálcio . | 67 |
| Quadro 2.81 - Valores médios das modalidades para o Magnésio (% da matéria seca). | 68 |
| Quadro 2.82 - Análise de variância do Magnésio . | 68 |
| Quadro 2.83 - Valores médios das modalidades para o Sódio (% da matéria seca). | 69 |
| Quadro 2.84 - Análise de variância do Sódio . | 69 |
| Quadro 2.85 - Valores médios das modalidades para o Ferro (mg.kg ⁻¹ de matéria seca). | 70 |
| Quadro 2.86 - Análise de variância do Ferro . | 70 |
| Quadro 2.87 - Valores médios das modalidades para o Manganês (mg.kg ⁻¹ de matéria seca). | 71 |
| Quadro 2.88 - Análise de variância do Manganês . | 71 |
| Quadro 2.89 - Valores médios das modalidades para o Cobre (mg.kg ⁻¹ de matéria seca). | 72 |
| Quadro 2.90 - Análise de variância do Cobre . | 72 |
| Quadro 2.91 - Valores médios das modalidades para o Zinco (mg.kg ⁻¹ de matéria seca). | 73 |
| Quadro 2.92 - Análise de variância do Zinco . | 73 |

Índice de figuras

| | |
|---|--------------|
| figura 1 - Produção à floração e à maturação | 74 |
| figura 2 - raízes na fase de floração | Anexo IV - 1 |

INTRODUÇÃO

Muitos dos trabalhos de investigação até hoje realizados em Portugal com, ou acerca da cultura da tremocilha (*Lupinus luteus* L.), têm tido preferencialmente, como substrato de implantação, os podzóis da área do mio-plio-pleistocénico (Miranda & Rebelo, 1990; Silva, 1986; Sousa, 1983; Vasconcelos *et al.*, 1990), que ocupam uma área de cerca de 1 000 000 a 1 500 000 hectares (Martins, 1986; Sousa, 1983). Apesar disso, é vulgarmente reconhecida a possibilidade de expansão desta espécie a todo o País, não só pelo seu cultivo (Almeida, 1963; Barradas, 1991; Calado, 1988; Nestler *et al.*, 1986), mas também pelo seu aparecimento na forma espontânea (Almeida, 1963; Franco, 1971; Gladstones, 1974; Martins, 1986; Miranda & Rebelo, 1990; Moreira, 1980; Sousa, 1983; Vasconcelos, 1962).

Concretamente, só na Beira Interior, Calado (1988) estima, dada a ausência de estatísticas que o possam provar, que a área anualmente ocupada por esta cultura rondará os 650 hectares. A tremocilha cultivada em Portugal é predominantemente amarga, possivelmente devido à sua maior rusticidade, ao seu mais baixo preço de aquisição, e à dificuldade em conservar estáveis os génotipos das variedades doces, nas condições normais de cultivo (Almeida, 1963; Sousa & Martins, 1986).

É sobejamente conhecida a deficiência Europeia e Nacional em proteínas de origem vegetal (Barradas, 1991; Dordio, 1986; Miranda & Rebelo, 1990; Salgueiro, 1986; Sousa, 1983). No sentido de reduzir a dependência em relação a fontes extracomunitárias (principalmente E.U.A.), a Comunidade Económica Europeia tem em acção programas de estímulo à produção de proteaginosas, contemplando também os tremoços, mas apenas os doces (Aguiar, 1991; Confagri, 1992; Salgueiro, 1988; Sousa & Martins, 1986). À partida, esta situação parece "condenar" a cultura da tremocilha em Portugal, o que, sinceramente não acreditamos, baseados em duas ordens de razões principais: de natureza nacional, e de natureza comunitária.

Como razão de ordem nacional apontamos a tradição do seu cultivo em alguns sistemas agro-silvo-pastoris extensivos de sequeiro em que representa uma componente da alimentação animal de extraordinária riqueza proteica (em quantidade e qualidade), quer quando aproveitada sob a forma de forragem conservada, quer quando consumida directamente, numa época do ano que coincide com a fase de gestação de pequenos ruminantes (seus principais beneficiários) e em que a única alternativa são os restolhos cerealíferos de muito menor valor nutricional (Barradas, 1991; Calado, 1988; Dordio, 1986; Faria & Sousa, 1982; Miranda & Rebelo, 1990; Salgueiro, s.d.). Se é certo que nos

referidos sistemas os agricultores lhe apontam o defeito de ocupar o terreno durante muito tempo, sem qualquer aproveitamento [(ao contrário dos cereais que permitem ser desfolhados no Inverno, quando as baixas temperaturas inibem o crescimento das pastagens) (Calado, 1988; Dias, 1988)], também lhe reconhecem essa virtude de fornecer um alimento rico de Verão, além de a ocupação do terreno ficar praticamente assegurada para o ano seguinte, por ressementeira natural (Calado, 1988; Parreira, 1981; Salgueiro, s.d.). Nalguns sistemas de agricultura regionais, com solos de muito baixa produtividade, como acontece em grande parte da Beira Interior, ainda são vulgares rotações do tipo: alqueive revestido, ou nu - cereal - pousio_(n-1) (n=2, geralmente) (Calado, 1988; Dias, 1988), sugerindo este último autor, baseado em Arnon (1972), que neste enquadramento ecológico é possível, com vantagens de várias ordens, substituir, pelo menos em parte, este pousio pouco produtivo (pois apenas origina uma magra pastagem permitindo muito baixos encabeçamentos), por uma leguminosa forrageira, a qual, cremos, pode perfeitamente ser a tremocilha, para produção de forragem a conservar sob a forma de feno ou silagem, ou para pastoreio directo. Esta alternativa ao pousio parece também ser corroborada por Calado (1988), quando refere, ainda acerca da Beira Interior: "muito ainda há por fazer para conseguir um melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis e uma racionalização mais eficaz dos sistemas de produção tradicionais, onde terá um papel preponderante a melhoria dos actuais sistemas forrageiros no sentido de se alcançar mais produto por unidade de área, de melhor qualidade e a um custo de produção unitário concorrencial" ou ainda, quando afirma: "Complementarmente (às pastagens semeadas) torna-se essencial assegurar uma adequada suplementação do efectivo pecuário durante as épocas críticas do sistema produtivo e reprodutivo, o que deverá ser conseguido com base em forragens conservadas (feno, silagem) produzidas na própria exploração, reduzindo ao mínimo a utilização de concentrados, cujo consumo sistemático significa, como se sabe, aumento dos custos de produção e saída de divisas".

Cabe aqui referir que a ensilagem da tremocilha não coloca grandes problemas (Parreira, 1981) e que o processo de fenação pode ser substancialmente encurtado e, conseqüentemente melhorado por um correcto condicionamento (Nestler *et al.*, 1990). Além disso, também se constata que através destes processos de conservação, há uma redução substancial, por degradação, do teor em alcalóides (Moreira, 1980).

As razões de ordem comunitária baseiam-se na última reforma da P.A.C., com o convite que faz à "renaturização", a uma agricultura mais biológica, mais auto-sustentada, com menor utilização de indutores de fertilidade artificiais, uma agricultura que preserve mais essa riqueza natural que é o solo (Confagri, 1992). Sob este aspecto, que melhor alternativa para diminuir a utilização de adubos azotados do que uma leguminosa forrageira

forrageira como a tremocilha, bom precedente cultural de várias culturas (Lopez-Bellido & Fuentes, 1986), que pode disponibilizar fósforo a outras espécies quando consociada (Barradas, 1991), e que protege o solo desse flagelo que muito nos atinge:-a erosão (Rosa, 1982; Lopez-Bellido & Fuentes, 1986)?

Não podemos também esquecer a obrigatoriedade da redução da área de cultura cerealífera a que estamos "condenados" pela harmonização progressiva dos preços nacionais e comunitários dos cereais (Aleixo, 1986; Dias, 1988; Salgueiro, 1988), que irá libertar muitos solos que estão a ter um aproveitamento inadequado e que, não terão necessariamente que ser arborizados na íntegra, podendo-se pensar noutras formas de aproveitamento, inclusive até o misto, uma vez que as árvores são sempre necessárias, quanto mais não seja para darem sombra na época do ano em que as altas temperaturas mais se fazem sentir.

Em face destas razões e de outras não explicitamente referidas, acreditamos no futuro da tremocilha e sobre ela resolvemos investigar.

Uma das características que contribui para que a tremocilha seja reconhecida como planta muito rústica é a possibilidade de adaptação a solos ácidos (Faria & Sousa, 1982; Gladstones, 1970; Monreal, 1986; Salgueiro, 1984; Santos, 1982; Sousa, 1983), que são os predominantes entre nós. Alguns autores classificam-na mesmo de calcífuga (Parreira, 1981), enquanto outros (Gladstones, 1970; Sousa, 1983) sugerem que essa possibilidade de adaptação se deve mais a uma maior disponibilidade de ferro e manganês, em que esta planta será exigente; outros ainda, referem que calagens moderadas, em solos medianamente ácidos, não acarretam diminuição de produção (Alves & Tavares, 1976; Parreira, 1981; Santos, 1982).

No intuito de tentar contribuir para alguma clarificação deste aspecto, propusémo-nos estudar a produção da tremocilha, em duas épocas de corte, num solo ácido da região de Castelo Branco (Pg) a que se adicionou individual e conjuntamente aqueles dois micronutrientes, com e sem correcção da acidez, uma vez que a tremocilha não deverá, como é obvio, fazer-se em monocultura, mas sim como componente de rotações (Salgueiro, 1984) em que outras culturas que as integrem podem, eventualmente, beneficiar dessa correcção da acidez. As duas épocas de corte referidas coincidiram com as fases de floração e maturação, que são aquelas em que habitualmente, no campo, se faz o aproveitamento para conservação ou pastoreio directo.

CAPÍTULO 1

OS *LUPINUS*: INTERACÇÕES SOLO-PLANTA

1.1. - Os *Lupinus* e a reacção do solo

A tremocilha (*L. luteus* L.) está bem adaptada a solos muito ácidos e ácidos, verificando-se o seu melhor desenvolvimento para valores de pH compreendidos entre 5,0 e 6,5. É, no entanto, muito sensível às deficiências de ferro e manganês associadas a reacções do solo neutras ou alcalinas, pois acima de pH 6,5-7,0, sofre frequentemente de clorose (atribuída na Europa à deficiência de ferro e, na Austrália Ocidental, à deficiência de manganês) (Gladstones, 1970; Sousa, 1983).

O tremoço de folhas estreitas (*L. angustifolius* L.) prefere solos moderadamente ácidos a neutros (Gladstones, 1970).

O tremoço branco (*L. albus* L.), prefere solos ligeiramente ácidos a ligeiramente calcários (Gladstones, 1970).

Ao tremoço das areias (*Lupinus cosentinii* Guss.) convêm solos moderadamente ácidos a ligeiramente calcários (Gladstones, 1970).

O tremoço dos Andes (*Lupinus mutabilis* Sweet) requiere solos ligeiramente ácidos a neutros (Chávez & Untied, 1982).

Sousa (1983) aponta que a tremocilha é geralmente considerada uma planta calcífuga, mas interroga-se se o será de facto, ou se se trata apenas de uma planta que exige grandes quantidades de ferro e manganês em formas assimiláveis.

1.1.1. - A calagem

Santos (1982) refere que, no caso das leguminosas efectivamente resistentes à acidez, como a tremocilha, se pode pôr a questão de saber se essas plantas, dispensando a calagem, serão prejudicadas quando aquela prática é efectuada.

Alves & Tavares (1976) em ensaios de campo em solos ácidos concluíram que o calcário não afectou desfavoravelmente a produção da tremocilha, como se receava de uma planta calcífuga.

Kholodov (1982) para o $\text{pH}_{(\text{KCl})}$, aponta como ideal o valor de 4,5, mas afirma que o *Lupinus luteus*, sendo considerado tolerante à acidez do solo, e calcífugo, não necessita de solos ácidos como condição essencial para o seu normal crescimento e desenvolvimento, podendo até, em alguns casos, serem recomendadas calagens.

1.1.2. - A clorose

A clorose é um fenómeno característico dos *Lupinus*, e está geralmente associada a elevados níveis de carbonato de cálcio em solos alcalinos e calcários podendo ter várias causas hipotéticas: deficiências de ferro, manganês, magnésio ou perturbações na absorção e metabolismo do azoto, relacionadas com a actividade das bactérias *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*). A deficiência de ferro, característica em solos calcários, é a teoria mais aceite, tudo levando a crer que o carbonato de cálcio prejudica a absorção, translocação e actividade do ferro, sendo a gravidade da clorose determinada pelo teor de carbonato de cálcio do solo (Lopez-Bellido & Fuentes, 1986).

O tremçoço branco é muito sensível à clorose calcária, pelo que não deve ser cultivado em solos com calcário activo (Girard, 1979; I.T.C.F., 1984). Comparativamente, o tremçoço branco tolera melhor o calcário, que a tremocilha (Barradas & Pinto, 1992).

Villax (1963) refere que *L. luteus* é a espécie mais afectada pela presença de calcário, manifestando sinais de clorose a partir de valores superiores a 0,5% de carbonato de cálcio nos solos. O *L. angustifolius*, desenvolve-se mal para valores superiores a 0,5-1,0% de CaCO_3 . De todos os *Lupinus* cultivados, o *L. albus* é o que melhor suporta algum calcário no solo (máximo, de 3 a 5% de CaCO_3) (Villax, 1963).

Lopez-Bellido & Fuentes (1986), citando Furgal (1974), ordenam algumas espécies de *Lupinus*, por ordem decrescente de susceptibilidade ao carbonato de cálcio, da seguinte forma: *L. luteus*, *L. angustifolius*, *L. mutabilis* e *L. albus*.

Já Hackbarth & Troll (1959), consideram *L. angustifolius* e *L. mutabilis* as espécies menos e mais afectadas, respectivamente.

No entanto, como há grande variabilidade entre cultivares de uma mesma espécie, esta ordenação nem sempre se verifica. Esta diferente susceptibilidade deverá mesmo ser aproveitada em programas de melhoramento com vista à obtenção de variedades mais resistentes ao carbonato de cálcio e potencialmente mais produtivas (Lopez-Bellido & Fuentes, 1986).

1.1.3. - A nodulação

A densidade das bactérias simbióticas *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*) nos solos, parece estar dependente da reacção do solo, sendo tanto maior, quanto mais ácido ele for (Girard, 1979; I.T.C.F., 1984). Duthion & Amarger (1982) na prospecção da presença de Bradirizóbio nos solos franceses encontraram uma correlação entre o pH do solo e o número de *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*). Esse número é superior a 100, por grama de solo, para pH inferior a 6,0 , entre 1 e 100 para pH entre 6,0 e 7,0 e inferior a 1 para pH superior a 7,0.

Monreal (1986), por sua vez, afirma que os solos com pH superior a 6,8 , só raramente contêm *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*). Para valores inferiores a 6,0 , geralmente contêm quantidade suficiente, e entre 6,0 e 6,8 , pode ser insuficiente, sendo conveniente fazer-se a inoculação.

Subramaniam *et al.* (1982) fizeram um estudo para avaliar o efeito sobre a nodulação e o crescimento inicial de *L. angustifolius*, cultivar Unicrop, submetida a diversos valores de pH no meio radicular. Verificaram haver maior nodulação para pH 6,0 , seguindo-se pH 7,0. Os crescimentos acompanharam a melhor nodulação. Para valores de pH inferiores ou superiores, a nodulação diminuíu, cessando para pH 4,0 e 10,0. A pH 3,0 , as plantas morriam. Concluíram assim, que a nodulação e a fixação de azoto são afectadas pelo pH do meio radicular, mas a infecção, ainda o é mais.

Gataulina (1990) estudou a nodulação de algumas espécies de *Lupinus* consoante o pH do solo e referencia, baseando-se em Vavilov & Posypanov (1983) que este afecta consideravelmente o desenvolvimento dos nódulos. *L. luteus* é a espécie que apresenta melhor desenvolvimento dos nódulos em solos ácidos, enquanto *L. albus* tem bom desenvolvimento de nódulos quando o solo é neutro. *L. angustifolius* tem um comportamento intermédio entre estas duas espécies (Quadro 1.1).

Quadro 1.1 - Variação do grau de nodulação dos *L. luteus*, *angustifolius* e *albus* com o pH

| pH | 4,0 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <i>L. luteus</i> | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 2 |
| <i>L. angustifolius</i> | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| <i>L. albus</i> | 0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 |

(Adaptado de Gataulina, 1990)

Legenda:

- 0 - sem nódulos;
- 2 - 50% das plantas apresentam pequenos nódulos;
- 3 - quase todas as plantas apresentam pequenos nódulos rosados;
- 4 - todas as plantas com nódulos, 50% dos quais, grandes e rosados;
- 5 - muitos nódulos grandes e vermelhos.

Temprano *et al.* (1990) referem que, mesmo em solos básicos, desde que não contenham calcário em demasia, é possível cultivar *Lupinus*, com inoculação. Nos casos em que o teor em calcário activo é tão grande, de forma a que as plantas sofram de clorose férrica, será necessário seleccionar cultivares tolerantes à deficiência de ferro, para além da inoculação em grandes doses, não se sabendo, no entanto, se as estirpes de *Bradyrhizobium* têm problemas em colonizar estes solos básicos.

A este respeito, Moraghan (1991) conduziu um ensaio num solo calcário de pH 8,2, pobre em fósforo, azoto e ferro com a cultivar Kiev de *L. albus* para estudar os efeitos do fósforo, ferro e da fonte de azoto (inoculação com *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*) ou azoto mineral). A produção aumentou com o fósforo e o ferro mas não teve diferenças com o tipo de fonte de azoto. As plantas inoculadas tinham nódulos, ao contrário das que o não foram. O fósforo e o ferro aumentaram o número e peso dos nódulos. As plantas a que não foi aplicado ferro inicialmente, viram o seu desenvolvimento afectado e mostraram clorose nas folhas, a qual aumentou com o fósforo e com o azoto, mas que decresceu quando se adicionou ferro e com o avançar do ciclo vegetativo. A clorose foi menos intensa nas plantas inoculadas do que naquelas que receberam azoto. A concentração de ferro nas plantas foi bastante afectada pela adição do ferro, mas houve tendência a serem as plantas inoculadas a terem maior concentração deste elemento. Os lançamentos, na ausência de fósforo adicionado, tinham baixas concentração de fósforo, o que leva a crer que a reconhecida eficiência do *L. albus* na absorção de fósforo em solos ácidos, não se verifica em solos calcários. A libertação de grandes quantidades de ácido cítrico e a dissolução do CaCO_3 na

rizosfera, devem aumentar a actividade do catião Ca^{2+} e reduzir a disponibilidade dos fosfatos de cálcio. O fósforo fez diminuir o desenvolvimento das raízes proteóides (estruturas que aparecem nas raízes laterais dos *L.albus*, que são constituídas por um grande enfechado de raízes de curta dimensão, mas que no seu todo representam uma parte importante da matéria seca do sistema radicular (Dinkelaker *et al.*, 1989) e consequentemente, a acumulação de manganês (Moraghan, 1991). Em alguns estudos, as raízes proteóides podem não se chegar a formar por haver uma disponibilidade de fósforo suficiente (Robson, 1986). A inoculação provocou um aumento da acumulação de manganês nas plantas não tratadas com fósforo devido a um maior desenvolvimento das raízes proteóides e ao efeito de acidificação da rizosfera associado à fixação de azoto atmosférico. A concentração de manganês foi pouco afectada pelo ferro (Moraghan, 1991).

Também Duthion & Amerger (1982) estudaram o comportamento das cultivares Sulfa de *L. luteus* e Kali de *L.albus* em solos neutros ou ligeiramente calcários, quando submetidos à inoculação com uma estirpe de *Bradyrhizobium sp. (Lupinus)* eficiente, ou quando lhes eram fornecidas doses crescentes de azoto mineral. A inoculação permitiu obter produções mais elevadas e com maior teor de azoto na colheita que a fertilização mineral. Os resultados obtidos mostraram que é possível obter boas produções em solos neutros com tremocilha e, até ligeiramente calcários, com tremoço branco, desde que se recorra à inoculação, uma vez que a fertilização azotada não é tão eficiente. As variações entre espécies poderão derivar de diferenças de crescimento do sistema radicular, diferenças na aptidão para a nodulação ou na actividade dos próprios nódulos.

Tang *et al.* (1990) estudaram o efeito da concentração de ferro da solução nutritiva na nodulação e na fixação de azoto atmosférico em *L.angustifolius* cultivar Yandee com e sem fornecimento de azoto mineral. Concluíram que o ferro está envolvido na fixação simbiótica de azoto atmosférico, não só na formação inicial dos nódulos, mas também, no seu funcionamento, e que a simbiose tem maior necessidade em ferro, do que aquela que é necessária para o desenvolvimento do hospedeiro isoladamente.

1.2. - Os *Lupinus* o ferro e o manganês

1.2.1. - Generalidades

O elemento ferro foi reconhecido como essencial às plantas no ano de 1845. Embora seja bastante abundante nas rochas e solos, é também frequente o aparecimento de sintomas de carência devido, sobretudo, à baixa solubilidade de alguns compostos de ferro férrico (Fe^{3+}). Por vezes, a acumulação de ferro é suficiente para a sua exploração mineira, mas a sua solubilidade é tão reduzida que não satisfaz, sequer, as necessidades das plantas, mesmo sendo apenas um micronutriente (Thompson & Troeh, 1979).

A maior parte do ferro contido nas rochas vulcânicas encontra-se na forma ferrosa (Fe^{2+}). Em solos sujeitos a encharcamento tem também tendência a manter-se nesta forma conferindo-lhes tons cinzento-azulados característicos de fenómenos de hidromorfismo. Muitos compostos de ferro ferroso têm baixa solubilidade, mas os de ferro férrico são ainda menos solúveis. As deficiências em ferro, quando existe algum ferro ferroso, só são de reear, sobretudo, em solos alcalinos

Solos mal drenados apresentam com frequência manchas ferruginosas devido aos iões Fe^{2+} terem, em condições de redução, sofrido oxidação, transformando-se em iões Fe^{3+} , os quais precipitam. Em alguns casos chegam a formar-se concreções, e até, camadas contínuas cimentadas (Thompson & Troeh, 1979).

Em solos bem drenados, muito do ferro encontra-se na forma férrica e está associado à matéria orgânica revestindo partículas minerais. A cor vermelha do óxido férrico (Fe_2O_3), associado com matéria orgânica e outros constituintes do solo produz manchas de tons acastanhados característicos, em que o ferro nelas contido é de pouca utilidade para as plantas. As deficiências em ferro serão mais frequentes, quando a taxa de libertação de ferro ferroso pelos minerais em cuja constituição entra, for inferior à sua taxa de oxidação (Thompson & Troeh, 1979).

A solubilidade dos compostos de ferro é muito menor nos solos alcalinos e, sobretudo, ricos em calcário activo, do que nos solos ácidos, uma vez que o carbonato de cálcio, directamente, a partir do ião carbonato (CO_3^{2-}) ou indirectamente, através do bicarbonatião (HCO_3^-) (proveniente da solubilização do CaCO_3), vai contribuir para a insolubilização do ferro (Santos, 1991).

A maior abundância de oxidriliões (OH^-) nos meios alcalinos contribui também para a precipitação do ferro na forma dos hidróxidos $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_2$ que têm baixa solubilidade.

Outros compostos de ferro também apresentam solubilidade reduzida para valores elevados de pH. A precipitação de formas anteriormente disponíveis é um dos riscos da sobrecolagem que induz, assim, à deficiência denominada por - clorose férrica.

A baixa solubilidade dos fosfatos de ferro em solos ácidos faz com que o fósforo possa contribuir para uma deficiência de ferro e, inversamente, o ferro possa provocar deficiências de fósforo. Teores elevados de fósforo em solos neutros ou alcalinos podem também reduzir a disponibilidade de ferro (Thompson & Troeh, 1979).

Deficiências em ferro podem também manifestar-se devido à presença excessiva de manganês e, possivelmente, de cobre, os quais funcionam como agentes oxidantes convertendo as formas ferrosas em formas férricas, menos absorvíveis. As deficiências em ferro causadas por excesso de manganês ocorrem, sobretudo, em solos ácidos, que, em condições normais, forneceriam ferro em quantidade suficiente para satisfazer as necessidades das plantas (Thompson & Troeh, 1979).

O ferro é absorvido pelas plantas na forma de ião ferroso e férrico, embora o primeiro seja mais importante no metabolismo das plantas. É necessário à síntese da clorofila, participa em reacções redox e faz parte dos citocromos e ferredoxinas (Santos, 1991). Uma deficiência em ferro provoca o aparecimento das folhas mais novas de tamanho inferior ao normal e com uma coloração verde pálido ou amarela - clorose -, sobretudo entre as nervuras, devido à redução na produção de clorofila. A manifestação da carência nas folhas mais novas deve-se à reduzida mobilidade do ferro na planta (Santos, 1991).

Os teores de ferro encontrados nas plantas rondam os 100mg.kg^{-1} , mais frequentemente, e as deficiências podem ocorrer para valores inferiores a 50mg.kg^{-1} (Santos, 1991).

As plantas outono-invernais podem manifestar sintomas de carência inicialmente e, posteriormente, recuperar, devido à expansão do sistema radicular e ao facto de o aumento de temperatura do solo aumentar a solubilidade dos compostos de ferro. Ao que parece, o enxofre exerce uma influência positiva na absorção de ferro (Thompson & Troeh, 1979).

A susceptibilidade das diversas plantas à clorose férrica é muito variável. Assim, por exemplo, a soja e os pessegueiros, nalguns estados dos Estados Unidos, revelaram grande susceptibilidade, ao contrário do milho, aveia, trevos, luzerna e algodão, cultivados nos mesmos solos. A maioria das plantas obtém o ferro de que necessita em solos neutros e ácidos, mas, por exemplo, as azáleas, já têm tendência a tornar-se cloróticas quando o pH ultrapassa o valor 6,0. Uma explicação possível para a diferente susceptibilidade das diversas espécies à deficiência de ferro poderá encontrar-se na emissão de exsudados radiculares que reduzem o ferro férrico a ferro ferroso (Thompson & Troeh, 1979).

As intoxicações com ferro são pouco frequentes e manifestam-se para valores superiores a 500mg.kg^{-1} na matéria seca das plantas (Santos, 1991). No Japão há uma doença do arroz - Akagara - provocada, precisamente, por uma absorção excessiva de ferro (Juste, 1982). A correcção destas intoxicações poderá ser feita através de calagens, incorporação de matéria orgânica para aproveitar a sua acção complexante e jogando com as interacções com outros nutrientes (Santos, 1991).

O sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) tem sido muito utilizado para suprir as deficiências em ferro. Este sal é solúvel em água e pode ser aplicado ao solo ou às plantas. A sua aplicação a solos calcários normalmente não se revela eficiente, uma vez que o ferro adicionado vai reagir formando hidróxido ferroso ou outros compostos insolúveis, devido ao elevado pH. As aplicações foliares, nestes casos, serão de preferir.

A aplicação de ferro sob a forma de quelatos, tem sido uma boa alternativa em casos em que a aplicação de sulfato ferroso não se revelou satisfatória, porque, embora sendo também solúveis em água, devido ao baixo valor da sua k_{inst} , libertam lentamente os iões ferro, que assim se mantêm disponíveis para a absorção radicular.

O quelato mais usado tem sido o Fe-EDTA, formado a partir do ácido etilenodiaminatetracético. É mais aplicado ao solo do que em pulverizações porque, neste caso, já houve casos de danificação de folhas. Aplicações ao solo de 10 a 20g de ferro, por cada árvore, sob esta forma quelatizada, revelaram-se eficientes na correcção de cloroses de citrinos. Estudos efectuados, revelaram que o quelato Fe-EDTA pode ser absorvido pelas raízes, embora, em alguns casos, se dê primeiro a separação do catião metálico que é, assim, o único a ser absorvido (Thompson & Troeh, 1979).

O efeito da aplicação ao solo de Fe-EDTA pode perdurar por cerca de 2 anos, uma vez que a molécula é resistente à degradação por via microbiana e à hidrólise. Sendo assim, os seus possíveis destinos, após a incorporação no solo, são:

- absorção radicular;
- substituição do ferro da molécula por outro catião metálico;
- adsorção pelas argilas do solo;
- arrastamento, devido à solubilidade da molécula em água .

A estabilidade e eficiência deste quelato é superior em solos ácidos, do que nos calcários. Um outro quelato de ferro, mais estável em solos calcários é o do ácido hidroxietilendiaminatetracético (HEDTA) (Thompson & Troeh, 1979). Outros quelatos possíveis são o ácido dietilenotriaminapentacético (DTPA) e o ácido etilendiaminahidrofenilacético (EDDHA) (Santos, 1991). Para além destes quelatos artificiais, a quelatização também pode ocorrer naturalmente no solo, quando alguns compostos orgânicos complexam o ferro.

O elemento manganês pode existir no solo em diversos estados de oxidação, mas a forma predominante na solução do solo parece ser o catião Mn^{2+} , o qual também se encontra nas rochas. Este ião pode ocupar as mesmas posições nas estruturas minerais que os iões de ferro e magnésio, mas é menos abundante que qualquer deles. Presente em pequenas quantidades nos minerais ferromagnesianos, aparece frequentemente na forma de óxidos de ferro e manganês herdados directamente da rocha-mãe. A sua libertação dá-se com a alteração desses minerais, sob a forma de catião Mn^{2+} , solúvel e, por isso, absorvível pelas plantas. Esse manganês absorvido pode depois voltar ao solo sob a forma orgânica, podendo este elemento atingir elevadas concentrações nos estrumes. O manganês de origem biológica representa mesmo a maior proporção deste elemento imobilizada nos solos. A biodegradação da matéria orgânica conduz também à libertação da forma solúvel, Mn^{2+} . Este ião poderá depois sofrer alterações no seu estado de oxidação, dependendo do potencial redox e do pH do meio. Assim, é susceptível de precipitar nas formas oxidadas Mn^{3+} e Mn^{4+} , a valores de potencial redox mais elevados do que aqueles a que se dá a oxidação do ferro. Na prática, em solos bem arejados, com matéria orgânica moderadamente ácida do tipo mull, dá-se uma oxidação moderada, com formação de Mn^{3+} , facilmente redutível ao estado anterior, não sendo de esperar a ocorrência de deficiências neste elemento. Pelo contrário, poderá haver casos de toxicidade, uma vez que o manganês chega a exceder a concentração do cálcio de troca, nalguns casos. Já em solos muito ácidos, com matéria orgânica do tipo moder ou mor, e frequentemente saturados em água, a oxidação não tem lugar, podendo todo o manganês ser arrastado pelas águas de drenagem, criando situações de carência (Guillet & Souchier, 1982) ou de toxicidade, se essa drenagem não ocorrer (Thompson & Troeh, 1979).

As formas tetravalentes, como o MnO_2 e outros óxidos complexos formam-se em meios bem arejados com elevado pH, natural ou provocado por sobrecolagem, e a partir de formas anteriormente móveis. Estas formas insolúveis são muito estáveis, sendo normal a ocorrência de deficiências deste elemento nestas condições (Guillet & Souchier, 1982).

Alterações bem marcadas do potencial redox do meio, devido à alternância de períodos de secagem e humedecimento podem levar à formação de precipitados de óxidos de ferro e manganês de cor escura (Guillet & Souchier, 1982).

O abaixamento do pH do solo por adição de enxofre pode induzir fenómenos de toxicidade e, contrariamente, a calagem pode evitá-los, tal como o aumento das disponibilidades de Fe^{2+} e Zn^{2+} , que provoca diminuição do consumo de manganês pelas plantas (Thompson & Troeh, 1979).

O teor deste elemento nas plantas varia muito de acordo com a sua disponibilidade no solo. Assim, em ensaios com trevos, conduzidos em vasos e em estufa, verificou-se que, consoante os diferentes valores de pH que o solo apresentava nos diversos vasos, os teores em manganês apresentados pelas plantas oscilavam entre 29 e $858mg.kg^{-1}$. Nos Estados Unidos também foram encontradas folhas de carvalho com teores desde 425 a $4500mg.kg^{-1}$. Na beterraba sacarina encontrou-se manganês até níveis nas folhas de $5590mg.kg^{-1}$. Os teores mais elevados nas plantas estão sempre associados a grandes concentrações de manganês nos solos. De qualquer forma, pode-se generalizar que a maioria dos valores encontrados nas diversas espécies vegetais se situa entre 20 e $400mg.kg^{-1}$ (Thompson & Troeh, 1979). As deficiências manifestam-se para valores inferiores a $15-25mg.kg^{-1}$ e a toxicidade para valores superiores a $500mg.kg^{-1}$ (Santos, 1991).

O manganês é um componente de sistemas enzimáticos, actua através de mecanismos que envolvem reacções redox devido aos seus diversos estados de oxidação possíveis (Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+}), pode substituir o magnésio na ligação de enzimas ao ATP, etc. (Santos, 1991). Tal como o ferro, é um elemento relativamente pouco móvel na planta, pelo que a denúncia de carências se manifesta primeiramente nas folhas mais jovens. Os sintomas variam de planta para planta, mas predomina a descoloração entre nervuras, semelhante à clorose férrica (Thompson & Troeh, 1979), ou à deficiência de magnésio, mas com uma distribuição mais irregular das manchas cloróticas e atingindo os bordos da folha (Santos, 1991).

Como já foi referido, a semelhança entre o ferro e o manganês, conduz a que haja uma certa competição para a absorção destes dois elementos, podendo detectar-se simultaneamente sintomas de toxicidade de um dos elementos e de carência do outro e vice-versa. O mesmo tipo de antagonismo verifica-se também entre o manganês e o zinco (Thompson & Troeh, 1979).

As deficiências de manganês têm sido corrigidas com sucesso em tratamentos foliares com soluções de sulfato de manganês com concentrações da ordem de 1%. Esta aplicação também poderá ser feita ao solo, sendo eficiente em solos orgânicos e em solos minerais muito sujeitos a processos de arrastamento de nutrientes. Em solos alcalinos, no entanto, esta aplicação não resulta, pela perda de solubilidade induzida pelas condições de alcalinidade. Neste caso, é de preferir a utilização de quelatos de manganês que, embora mais dispendiosos, são mais eficientes nestas condições. A eficiência do manganês, quelatizado ou não, parece ser maior quando aplicado conjuntamente com fertilizantes fosfatados e, sobretudo, quando essa aplicação é localizada. A estrumação, quando efectuada regularmente, costuma ser suficiente para veicular o manganês necessário para satisfazer as necessidades das plantas. O manganês de origem orgânica, mantém-se disponível em solos alcalinos mais tempo do que o sulfato de manganês. O teor em manganês dos estrumes reflecte, de certa forma, a sua disponibilidade nos solos onde foi produzida a alimentação dos animais (Thompson & Troeh, 1979).

1.2.2. - Absorção e translocação do ferro e manganês pelos *Lupinus*

A deficiência de ferro manifesta-se pela coloração verde pálida das folhas jovens. Em casos severos, as folhas mais jovens podem tornar-se esbranquiçadas antes de necrosarem. Manchas necróticas aparecem nas folhas cloróticas. Geralmente, em solos próximo da neutralidade ou abaixo, os *Lupinus* não sofrerão deficiência de ferro. A elevada afinidade do ião citrato pelo ferro e a formação com ele de complexos contribui, provavelmente, para o aumento de solubilidade do ferro (Meredith, 1990).

Elevadas concentrações de ferro ocorrem nas raízes do tremoço branco, quase 40 vezes superiores às da parte aérea (Meredith, 1990).

As sementes de *L.albus* contêm um elevado teor de manganês, excedendo em cerca de 5 a 15 vezes o teor do mesmo elemento nas sementes das restantes espécies de *Lupinus*, o que se torna prejudicial do ponto de vista da nutrição humana e animal. (Hackbarth & Pakendorf, 1970; Salgueiro, 1984).

O manganês é muito importante para corrigir uma anomalia designada por "split-seed", que ocorre no tremoço de folhas estreitas, mas apenas nas variedades doces, sobretudo na Austrália. Provavelmente, este acidente deverá estar relacionado com a síntese bioquímica dos alcalóides. A sua manifestação é mais frequente em solos arenosos profundos, solos com pH elevado, ou devido a elevadas fertilizações fosfatadas, situações em que a disponibilidade de manganês poderá ser menor. Esta anomalia caracteriza-se pela redução no crescimento, plantas com as partes mais jovens amareladas, formação de vagens em que as sementes não se desenvolvem, atrasos na maturação, rompimento do tegumento e saída dos cotilédones, com redução da produção de semente (Gladstones, 1977; Lopez-Bellido & Fuentes, 1986; Salgueiro, 1984).

Embora não atribuível apenas à deficiência de manganês, este acidente tem-se reduzido em grande parte com a aplicação de sulfato de manganês, enquanto outras práticas, como as sementeiras realizadas cedo, a utilização de variedades precoces e maiores densidades de sementeira, parecem também contribuir para uma menor incidência do fenómeno (Gladstones, 1977; Lopez-Bellido & Fuentes, 1986; Salgueiro, 1984).

Os níveis de deficiência de manganês nas várias espécies costumam revelar-se para teores entre 10 e 20mg.kg⁻¹ de matéria seca, em folhas maduras. Os cloroplastos são muito sensíveis à deficiência de manganês e, como tal, quando os níveis de manganês nos tecidos são insuficientes, as folhas têm coloração verde pálida. Os sintomas de deficiência começam por aparecer nas folhas mais jovens. Em casos severos de deficiência, os folíolos dobram-se e enrolam as suas margens, onde aparecem manchas necróticas bronzeadas (Meredith, 1990).

Harasimowicz (1988) aplicou 20kg.ha⁻¹ de sulfato de manganês, isoladamente e numa mistura de micronutrientes, num solo com teor em manganês de 16,2mg.kg⁻¹, considerado médio, no cultivo de *L.luteus* cultivar Topaz. Quer num caso, quer no outro, obteve aumento na produção de matéria seca, embora não significativo, tendo-se também verificado aumento no teor de manganês nessa matéria seca, que passou de 163,7mg.kg⁻¹ na testemunha, para 197,5 (diferença significativa a 5%) no caso da aplicação isolada, e 184,1 (diferença não significativa a 5%, mas quase) no caso da mistura de micronutrientes. A aplicação isolada de manganês fez decrescer ligeiramente o teor de azoto na matéria seca, enquanto a aplicação da mistura contendo manganês fê-lo subir ligeiramente, relativamente à testemunha. Em termos de produção de grão, a aplicação do manganês isoladamente, aumentou-a significativamente, tendo-a também aumentado a mistura de micronutrientes, embora de forma não significativa. Relativamente ao teor de manganês apresentado pelas

sementes, houve um aumento significativo de 127,3mg kg⁻¹ para 157,1 , no primeiro caso, e não significativo para 142,1 , no segundo caso.

Geralmente, os *Lupinus* têm raízes muito profundantes, ultrapassando, se não houver restrições, os 2,0m, enquanto outras leguminosas só chegam aos 50cm. A proporção do sistema radicular nos 20cm superficiais nos *Lupinus*, é frequentemente só de cerca de 40%, enquanto para outras leguminosas chega a ser de mais de 70% (Robson, 1986).

O mesmo autor refere que a absorção, transporte e utilização dos nutrientes pelos *Lupinus* só foram estudadas em pormenor, sobretudo, em *L.angustifolius* e *L.albus*. No entanto, reconhece haver grandes diferenças na absorção e utilização dos nutrientes entre as diversas espécies de *Lupinus*, como, por exemplo, o *L.angustifolius* ser mais susceptível à deficiência de manganês do que as outras espécies do mesmo género. Os *Lupinus* têm muito pouca capacidade para formar associações com fungos micorrízicos, tendo Borie (1990) constatado que, entre várias espécies, era *L.luteus* que apresentava maior nível de infecções, com apenas 8%. É provável que os *Lupinus* tenham componentes tóxicos para os fungos micorrízicos uma vez que a presença de *Lupinus*, ou somente de tegumentos da semente, diminui a infecção de outras espécies que estejam consociadas (Robson, 1986). No entanto, as espécies *L.angustifolius* e *L.albus*, têm adaptações radiculares que lhes permitem obter nutrientes que estão química ou fisicamente indisponíveis para outras leguminosas. Assim, a primeira espécie tem uma raiz muito profundante e forma uma grande quantidade de longos pelos radiculares, enquanto a segunda forma raízes proteóides que, ao aumentarem extraordinariamente a superfície radicular, são uma alternativa eficiente à quase ausência de associações micorrízicas (Robson, 1986). Barradas (1991) estudou comparativamente os sistemas radiculares de *L.albus* e *L.luteus* e constatou que o desta última espécie é mais fino, mais comprido, mais denso em níveis mais profundos e mais resistente aos obstáculos à sua progressão. Em situações normais de fertilidade, no entanto, a densidade radicular dos *Lupinus* é inferior à de outras plantas (Meredith, 1990; Robson, 1986).

Cabe aqui referir que a maior parte dos autores só referem a existência de raízes proteóides em *L.albus* e alguns outros, também em *L.cosentinii* (Robson, 1986). Este último autor afirma que *L.angustifolius* e *L.luteus* não formam este tipo de estruturas. No entanto, Barradas (1991) encontrou raízes proteóides no sistema radicular de *L.luteus*.

As raízes proteóides aparecem, sobretudo, ligadas à disponibilização de fósforo em formas não assimiláveis e indirectamente, acabam também por o fazer em relação a outros nutrientes, como o ferro e o manganês, através da libertação para a rizosfera de

compostos redutores e quelatizantes, como o ião citrato (Dinkelaker *et al.*, 1989; Gardner & Parbery, 1981; Gardner & Boundy, 1983; Gardner *et al.*, 1982a e b, 1983). Poderá haver outros mecanismos pelos quais as raízes proteóides aumentam a absorção de nutrientes, como um aumento da actividade de fosfatases para a libertação de fosfatos de compostos orgânicos, o que está de acordo com a maior formação de raízes proteóides, estimulada pelos microrganismos, em solos ricos em matéria orgânica (Robson, 1986).

As raízes proteóides justificam, pelo menos em parte, as elevadas concentrações de manganês que os *L.albus* normalmente apresentam na sua composição (Barradas, 1991; Reay & Waugh, 1981; Sequeira *et al.*, 1986). No solo, na zona das raízes proteóides, as concentrações de ferro, manganês e zinco solúveis em água, e extraíveis, são várias vezes superiores em relação ao resto do solo (Meredith, 1990).

Borie, (1990) em ensaios com várias espécies de *Lupinus* criados numa solução nutritiva de pH 6,0, verificou que ao fim de 30 dias a exsudação de H⁺ era máxima, tendo-se verificado valores de pH junto às raízes oscilando entre 3,22 e 3,70. Paradoxalmente, quanto a nós, o autor refere, mas sem lhe atribuir qualquer importância, que o *L. luteus* produziu exsudados radiculares próximos da neutralidade e elevou o pH para 6,4 ao fim de 15 dias.

Mesmo nas espécies de *Lupinus* que não formam raízes proteóides, há uma extensa rizosfera que se estende pelo menos 18mm à volta da superfície das raízes. Também pode haver aumento da exsudação das raízes em plantas deficientes em fósforo (Robson, 1986).

O manganês é absorvido principalmente na forma de catião Mn²⁺, e é translocado predominantemente nessa forma livre, das raízes à parte aérea, via xilema (Meredith, 1990).

A excessiva absorção de manganês no *L.albus*, e o aumento da solubilidade do manganês serão, provavelmente, devidos a um efeito conjunto da descida do pH, redução dos óxidos de manganês e formação de quelatos de manganês. No solo, o manganês e o nitrato são reduzidos antes dos compostos férricos. A rizosfera dos *Lupinus*, alterada para aumentar a solubilidade do ferro, proporciona as condições ideais para a solubilização do manganês e para uma acelerada desnitrificação, o que ajuda a explicar a baixa concentração de azoto encontrada nas sementes de algumas cultivares com elevada concentração de manganês. A menor produção e conteúdo proteico em cultivares com elevado teor em manganês, e a correlação negativa do manganês com a produção, altura da planta e peso das sementes, podem bem ser atribuídas à desnitrificação (Meredith, 1990).

Rebello *et al.* (1982) consideram que o alto teor de manganês nas sementes depende predominantemente do solo, e a variação genética nas linhas de *L.albus* por eles estudadas, embora tivesse influência, não poderia conduzir à diminuição drástica do manganês.

Neste mesmo sentido, Sequeira *et al.* (1986) fizeram um estudo que visou determinar o efeito da aplicação de CaCO_3 e P_2O_5 , em solos ácidos, na produção e teor de manganês nas sementes do *L.albus*. Concluíram que a calagem aumentou a produção, embora de forma não significativa, e diminuiu, tendencialmente, mas pouco, a concentração de manganês nas sementes. Verificaram ainda que, pequenas variações do teor de manganês no solo, causam uma enorme variação do teor na semente. O fósforo também reduziu o teor de manganês nas sementes, mas, igualmente, de forma pouco pronunciada.

Meredith (1988), no entanto, é da opinião que, - embora vários autores refiram que um aumento da disponibilidade de ferro reduz a concentração de manganês na parte aérea das plantas, e que o quelato do ácido etilenodiaminahidrogenofenilacético com ferro (FeEDDHA), quando aplicado ao solo, sobretudo de forma localizada, se tem mostrado eficiente nesta redução-, a selecção de variedades parece ser um campo mais promissor. Harasimowicz (1988) refere que, nas suas investigações, se notou que a aplicação de um micronutriente isolado provoca o aumento da sua concentração, quer na semente, quer no resto da planta, mas não reduz, ou aumenta, a absorção e concentração de outros micronutrientes.

Takai & Kamura (1966) apontam no mesmo sentido de Meredith, ao referirem que o futuro dos *Lupinus* pertence aos geneticistas, apontando como alvos de selecção, entre outros:

- redução do teor de manganês;
- diminuição das necessidades em ferro;
- possibilidade de cultivo em solos de pH elevado.

O *L.angustifolius* é mais sensível à anomalia "split-seed", que as restantes espécies de *Lupinus*. Esta diferença de susceptibilidade não é só devida a diferenças na absorção de manganês, ou a necessidades funcionais, mas, sobretudo, à capacidade da planta em transportar o manganês para a semente em desenvolvimento. Um dos factores que mais afectam a distribuição dos nutrientes nas diversas partes das plantas, é a disponibilidade de nutrientes para o crescimento e, as diferenças de concentração encontradas, reflectem, não só o transporte do que foi recentemente absorvido, como também a retranslocação de nutrientes no floema (Robson, 1986). Durante o crescimento vegetativo, o *L.luteus* pode

apresentar sintomas de deficiência de manganês e não vir a ter "split-seed" (Radjagukguk, 1981). Contrariamente, nas mesmas condições, o *L.angustifolius* é capaz de não apresentar qualquer deficiência durante o crescimento vegetativo, mas depois apresenta grande incidência de "split-seed". Uma vez depositado nas folhas, o manganês não parece ser retranslocado para os pontos de crescimento, ou para as sementes, podendo perder-se por lavagem pela água da chuva (Robson, 1986). No entanto, o manganês das raízes, caule e pecíolos pode ser translocado, via floema, para as sementes em formação. A retenção do manganês nos caules deverá servir para o dirigir às sementes. A maior susceptibilidade à deficiência de manganês do *L.luteus*, durante o crescimento vegetativo, e a menor susceptibilidade ao "split-seed", relativamente ao *L.angustifolius*, são devidas a uma maior retenção de manganês nos caules, quando a disponibilidade de manganês é insuficiente para o crescimento. Quando há suficiência, já o manganês também é conduzido às folhas superiores. No *L.angustifolius*, pelo contrário, o manganês recém absorvido é distribuído, uniformemente, pelos caules e folhas, superiores e inferiores, independentemente da maior ou menor adequação ao crescimento da planta. A concentração de manganês no fluido floémico, durante a frutificação, está relacionada com a incidência de "split-seed", sendo os níveis críticos de 0,4 a 0,6 g.L⁻¹, tendo-se observado concentrações muito mais elevadas (até 4,5g.L⁻¹) (Robson, 1986).

Kholodov (1982) tem uma posição singular, ao sugerir que, para a obtenção de elevadas produções com *L. luteus* de baixo teor em alcalóides, não interessa tanto considerar o teor deste ou daquele nutriente, tomado individualmente, mas sim, o equilíbrio de todo um conjunto de propriedades químicas do solo (das quais estudou 20), tomadas colectivamente. Chega mesmo a propor um modelo teórico que permite prever as produções, a partir das propriedades químicas que o solo apresenta. Igualmente, vai ao ponto de afirmar que, para os solos por ele estudados, os teores ideais de ferro e manganês se situam em 10mg de Fe₂O₃ por 100g de solo e 100mg de manganês por kg de solo, respectivamente.

1.2.3. - O ferro, o manganês e a actividade enzimática

Varenes & Carvalho (1992) verificaram que em *L.albus* os níveis de ferro e manganês disponíveis em soluções nutritivas influenciam a actividade isoenzimática de várias isoenzimas, assim como o conteúdo destes elementos nas folhas e raízes (Quadro 1.2)

Quadro 1.2 -Teores de manganês e ferro em *L.albus* com e sem estes elementos na solução nutritiva

| | manganês (mg.g ⁻¹) | ferro (mg.g ⁻¹) |
|--|--------------------------------|-----------------------------|
| controlo (raízes) (sem manganês e sem ferro) | 0,18 ± 0,02 | 1,54 ± 0,06 |
| elevado nível do elemento(raízes) 10000 µM de manganês 500 µM de ferro | 10,39 ± 0,76 | 13,96 ± 2,60 |
| controlo (folhas) (sem manganês e sem ferro) | 1,49 ± 0,08 | 0,55 ± 0,10 |
| elevado nível do elemento(folhas) 10000 µM de manganês 500 µM de ferro | 34,27 ± 1,28 | 1,77 ± 0,08 |

Adaptado de Varenes & Carvalho (1992)

Ostrovskaja *et al.* (1990) encontraram aumentos de actividade da superóxido dismutase (SOD) em *L. luteus*, devido à deficiência de ferro, em solos a que foi adicionado CaCO₃. Segundo estes autores, o início da clorose induzida é determinado, não apenas pela redução da biossíntese da clorofila, mas também por outras consequências da deficiência de ferro nos tecidos, como sejam a alta taxa de formação de superóxido, e de outras formas de oxigénio activado, que causam modificações destrutivas no sistema fotossintético. Assim, o aumento da actividade da SOD, parece ser um mecanismo protector da formação de superóxido.

1.2.4. - O ferro e o manganês na nutrição animal

Rebelo *et al.* (1982) fizeram um ensaio com 20 estirpes de tremçoço branco doce, e verificaram que, nas suas sementes, havia uma certa constância no teor de alguns elementos, como o ferro, mas bastante variação no teor de manganês. Quanto à distribuição do ferro e do manganês na semente, a sua concentração é maior no embrião, seguindo-se os cotilédones.

Burbano *et al.* (1982) estudaram os teores de ferro e manganês nas farinhas provenientes de várias espécies de *Lupinus*. O ferro apresentou os maiores valores (60 a 70mg.kg⁻¹) no *L.luteus*, e algumas cultivares de *L.mutabilis*, dentro do requerido para a

alimentação de leitões. Para aves, será necessário um suplemento adicional de ferro, nas dietas em que as farinhas destas espécies entrem.

As necessidades em manganês para os animais estão geralmente entre 20 e 40mg.kg⁻¹. Valores inferiores podem ser problemáticos, pois parecem interferir com a absorção de ferro. Assim, os baixos níveis de manganês em *L.angustifolius* e *L.mutabilis*, assim como os elevados níveis de manganês em *L.albus*, são de ter em conta na formulação de dietas para alimentação animal. Neste estudo, a variedade Tremosilla, da espécie *L.luteus*, apresentava um teor de ferro de 67,16mg.kg⁻¹ e 64,00mg.kg⁻¹ de manganês (Burbano *et al.*, 1982).

Hackbarth & Pakendorf (1970) apresentam a seguinte composição da semente, relativamente ao ferro e ao manganês de quatro espécies de *Lupinus*, cultivadas na África do Sul (Quadro 1.3)

Quadro 1.3 Concentração de ferro e manganês na semente (mg.kg⁻¹)

| | ferro | manganês |
|------------------------|-------|----------|
| <i>L.albus</i> | 49,60 | 470,00 |
| <i>L.angustifolius</i> | 61,00 | 29,00 |
| <i>L.mutabilis</i> | 76,00 | 55,60 |
| <i>L.luteus</i> | 76,00 | 117,50 |

Adaptado de Hackbarth & Pakendorf (1970).

CAPÍTULO 2

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. - Material e métodos

Os ensaios (um com colheita à floração e o outro com colheita à maturação), foram instalados no Horto da Secção Autónoma de Química Agrícola do I.S.A., tendo-se procedido à sementeira em 28/10/91. As unidades experimentais foram vasos de parede dupla de polietileno branco, quimicamente inerte [(tipo Kick-Brauckmann), (Torres *et al.*, 1988)], com 22cm de diâmetro de boca e profundidade útil de 25cm, contendo 12 kg da camada superficial (0-20cm), crivada num crivo plástico de 0.5cm de malha, de um solo granítico da região de Castelo Branco, classificado de Pg -solo litólico não húmico-segundo a classificação do Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (1974) (Cambissolo dístico, segundo a classificação F.A.O./U.N.E.S.C.O., 1988), cujo perfil mereceu a seguinte descrição:

Horizonte Ap₁ (0,00 a 0,10m): pardo ligeiramente amarelado (light yellow brown) 10YR 6/4 (seco), pardo amarelado escuro (dark yellowish brown) 10YR 4/4 (molhado); franco-arenoso, com muito saibro e algum cascalho de quartzo e feldspato angulosos; pouca matéria orgânica; estrutura pouco evidente com muita terra fina e alguns agregados anisoformes subangulosos médios e finos, fracos; sem fendilhamento; bastante poroso, com poros finos e muito finos; compactidade pequena a média; muito friável; efervescência nula com HCl; bastantes raízes finas e poucas médias; fresco. Transição evidente, plana, para:

Horizonte Ap₂ (0,10 a 0,18-0,20m): horizonte semelhante ao anterior, mas evidenciando uma compactidade mais elevada e uma maior percentagem de agregados (estrutura anisoforme angulosa média). Transição evidente, plana, para:

Horizonte B_w (0,18-0,20 a 0,40-0,45m): pardo ligeiramente amarelado 10YR 6/4 (seco), pardo amarelado escuro 10YR 4/4 (molhado); textura franca, com bastante saibro e algum cascalho de quartzo e feldspato angulosos encontrando-se, por vezes, este último em alteração; não evidenciando presença de matéria orgânica; estrutura anisoforme angulosa fina a grosseira, média a fraca; bastante poroso, com poros médios e finos; compactidade média; friável; efervescência nula com HCl; algumas raízes finas e raras médias; fresco a húmido. Transição evidente, ondulada, para:

Horizonte C (0,40-0,45 a ?m): granito muito podre.

Informações complementares:

Litologia- granito.

Topografia- ondulada, perfil aberto no terço superior de uma encosta pouco declivosa.

Drenagem- boa.

Vegetação- codessos. (*Adenocarpus complicatus*).

Erosão- elevada percentagem de elementos grosseiros à superfície evidencia a existência de uma considerável erosão laminar.

Clima- Termo-Mediterrâneo (F.A.O.).

Algumas características físico-químicas do solo ensaiado:

| | | |
|--|----------------|---------------------------------|
| -Elementos grosseiros(%) | 50 | |
| -Areia grossa(%) | 44,77 | |
| -Areia fina(%) | 23,18 | |
| -Limo(%) | 16,59 | |
| -Argila(%) | 15,46 | |
| -Textura | franco-arenosa | |
| -% Água após encharcamento e escorrimento livre durante 48 horas ⁽¹⁾ | 17,9 | |
| -Densidade aparente em amostra não perturbada | 1,38 | (sonda de Grove) |
| -Densidade aparente em amostra perturbada ⁽²⁾ | 1,70 | |
| -Matéria orgânica(%) | 1,29 | (Cx1,724) (Ströhlein) |
| -Azoto total(%) | 0,034 | (Kjeldahl) (Jackson, 1958) |
| -pH(H ₂ O) | 4,9 | (Potenciómetro) (medidor de pH) |
| -pH(KCl) | 3,9 | (Potenciómetro) (medidor de pH) |
| -Fósforo assim. (P ₂ O ₅) (mg.kg ⁻¹) | 20 | (Egner-Riehm) (colorimetria) |
| -Potássio assim. (K ₂ O) (mg.kg ⁻¹) | 104 | (Egner-Riehm) (fotom. de chama) |
| -Bases de troca [cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹] | | (Mehlich, 1953) |
| Cálcio | 1,07 | |
| Magnésio | 0,29 | |
| Potássio | 0,11 | |
| Sódio | 0,19 | |
| -Hidrog. de troca [cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹] | 7,43 | (Mehlich, 1953) |
| -Capac. de troca [cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹] | 9,09 | (Mehlich, 1953) |

(1) tomada como valor aproximado da capacidade de campo .

(2) valor tomado para efeito de determinação da quantidade de correctivo cálcico e determinado por pesagem de um volume de terra.

| | | |
|---|------|-----------------|
| -Grau de saturação em bases (%) | 18 | (Mehlich, 1953) |
| -Micronutrientes extraíveis(mg.kg ⁻¹) | | (Lakanen, 1971) |
| Manganês | 5,1 | |
| Ferro | 31,5 | |
| Cobre | 0,5 | |
| Zinco | 0,0 | |

A adubação de fundo consistiu na aplicação de 0,25g de azoto, na forma de uma solução de NH₄NO₃; 1,5g de P₂O₅, na forma de Ca(H₂PO₄)₂.H₂O e 1,0g de K₂O, na forma de K₂SO₄, em todos os vasos.

Em termos de delineamento experimental, os ensaios consistiram em dois factoriais 2³ em blocos completos casualizados com 3 repetições, num total de 2x24 vasos. Os três factores em estudo foram os nutrientes ferro e manganês e a calagem, na forma de carbonato de cálcio. Para cada um dos factores, houve dois níveis de aplicação:- o nível 0 (sem qualquer fornecimento do factor em causa) e o - nível 1 que consistiu em, respectivamente:

Fe- 60mg/vaso na forma de FeSO₄. 7H₂O

Mn- 50mg/vaso na forma de MnSO₄. H₂O

CaCO₃- 17,7g/vaso.

Esquemáticamente, cada bloco tinha as seguintes 8 modalidades:

| | | Mn-0 | | Mn-1 | |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -1 | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -1 |
| Fe-0 | Fe-0 | Fe-0 | Fe-0 | Fe-0 | Fe-0 |
| | Mn-0 | Mn-0 | Mn-0 | Mn-1 | Mn-1 |
| | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -1 | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -1 |
| Fe-1 | Fe-1 | Fe-1 | Fe-1 | Fe-1 | Fe-1 |
| | Mn-0 | Mn-0 | Mn-0 | Mn-1 | Mn-1 |
| | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -1 | CaCO ₃ -0 | CaCO ₃ -1 |

A semente utilizada foi da variedade amarga e precoce -Mil Fontes- (inscrita no Catálogo Nacional de Variedades em 1987), mas de um lote obtido no campo, não comercial, e conservado no banco de germoplasma do I.S.A., com grande heterogeneidade,

segundo o seu colector, e evidenciada por grandes diferenças no matizado do tegumento e no tamanho das sementes.

Inicialmente fez-se um ensaio de germinação que revelou uma taxa germinativa da ordem dos 70%. Por precaução, foram semeadas 5 sementes por vaso, a 28 de Outubro, a 4cm de profundidade, e após a emergência dos cotilédones, a 8 de Novembro, reduziu-se a 3 o número de plantas por vaso e a 22 de Novembro deixaram-se ficar apenas as duas mais vigorosas e/ou melhor colocadas em cada vaso. Poder-se-á considerar escasso o número de repetições e o número de plantas por vaso, mas os meios disponíveis e o porte das plantas mais não permitiram.

Não se procedeu à inoculação das sementes, por haver conhecimento pessoal de se ter feito a cultura no local de colheita das terras, em anos anteriores. Sobre este assunto, Lopez-Bellido & Fuentes (1986), recorrendo a vários autores, referem que a nodulação é espontânea em solos onde tradicionalmente se cultivem plantas do género *Lupinus* ou onde haja plantas espontâneas compatíveis com as bactérias *Bradyrhizobium sp. (Lupinus)* (géneros *Ornithopus*, *Cytisus*, *Ulex* e outros), sobretudo em solos com pH inferior a 6 e que a sobrevivência das bactérias é de cerca de 6 anos. Sousa (1983) também afirma que os solos portugueses, dada a tradição desta cultura, não apresentam problemas de povoamento com Bradirizóbio.

Igualmente, também não se procedeu à desinfeção do solo nem das sementes, para procurar reproduzir mais fielmente as condições em que normalmente se processa a cultura.

As regas foram sempre feitas com água desionizada e conduzidas com a preocupação de evitar o encharcamento prolongado a que a tremocilha é sensível (Sousa, 1983). Inicialmente começou-se com duas regas semanais para pôr o solo a cerca de 50% da capacidade de campo, e foi-se aumentando progressivamente a frequência e dotação, à medida que as temperaturas e o desenvolvimento das plantas foram aumentando, sendo o controlo feito por pesagem e sintomatologia visual.

Como é evidente, para se evitarem contaminações, as plantas foram sempre resguardadas das precipitações atmosféricas e os materiais de manipulação, sempre que possível, foram não metálicos, ou, quando não havia alternativa válida, procurou-se que fossem em aço inox.

Durante o desenrolar do ciclo, do ponto de vista sanitário, houve a registar em Novembro um ligeiro ataque de um insecto não detectado mas que a sintomatologia produzida -tecido verde consumido e pontuação transparente- é muito semelhante à descrita por Plancquaert (1984) e atribuída ao insecto *Sminthurus viridis* [(pulga da luzerna) (Aguiar, 1991)]. Este ataque foi rapidamente debelado com um tratamento de Decametrina. Em princípios de Janeiro, verificaram-se algumas necroses nas pontas dos folíolos atribuíveis, ao que supomos, ao frio nocturno e/ou ao facto de algumas gotículas que permaneciam sobre os folíolos terem funcionado como lente, concentrando a radiação, uma vez que as condições prevaletentes nessa época do ano foram predominantemente de céu limpo. Estas necroses acabaram por passar com o tempo. Houve também necessidade de proceder a dois tratamentos com Benomil contra o oídio [(*Erysiphe Pisi* Dc.) (Lopes & Moreira, 1986)], em Fevereiro e Abril. No cômputo global, poder-se-á dizer que estes sucessos foram de pequena incidência, rapidamente tratados e com distribuição aleatória.

As infestantes foram sendo mondadas, manualmente, ao aparecimento.

A colheita à floração foi feita quando 50% das plantas dos três blocos se encontravam em plena floração da primeira inflorescência, o que sucedeu em 19 de Março de 1992. Tomou-se o peso fresco e, após secagem em estufa, tomou-se o peso seco. Seguidamente foram moídas num moinho de Wiley para posterior análise.. As terras foram desenvasadas, retirando-se o máximo possível de raízes, e constituíram-se também amostras para análise. As raízes foram apenas comparadas visualmente quanto ao seu desenvolvimento e estado de nodulação, não se procedendo à sua análise e pesagem por não se ter conseguido separá-las suficientemente bem da terra envolvente.

Após a floração, verificou-se um vingamento muito concentrado no terço inferior das inflorescências, o que Lopez-Bellido & Fuentes (1986), recorrendo a outros autores, atribuem ao facto de haver grande concorrência entre as diversas inflorescências e ramificações para os produtos fotossintéticos, o que tem como consequência baixas percentagens de vingamento das flores.

A colheita à maturação foi feita em 11 de Maio, quando se iniciou a deiscência natural, tendo-se retirado todas as vagens. A preparação das amostras para análise, quer de terras, quer de plantas, seguiu os mesmos trâmites de que se fez uso aquando do ensaio à floração. Por mera curiosidade, avaliou-se a produção total de sementes e comparou-se o peso das raízes, mas sem rigor, por razões já referidas.

2.2. - Resultados e respectiva análise

A análise estatística foi feita recorrendo ao programa Statgraphics 5.0, tendo-se feito uma análise de variância multifactorial para avaliar os efeitos dos três factores em estudo e respectivas interacções, e o teste de Duncan, para comparação das médias dos tratamentos, uma vez que, Gomez & Gomez (1984) o aconselham quando se trata de comparar um número de tratamentos superior a seis.

2.2.1. - Produção de matéria seca nas fases de floração e maturação (sem vagens).

Verificou-se que na fase de floração não houve diferenças significativas entre os diversos tratamentos (Quadro 2.1). Os tratamentos mais produtivos foram, por ordem decrescente, com ferro, com manganês, e com ferro e manganês, todos eles sem calagem. Seguiram-se com ferro e manganês, com ferro e a testemunha, todos com calagem, situando-se em último lugar com calagem e manganês e a testemunha sem calagem. Quer o ferro, quer o manganês, tiveram um efeito positivo, embora não significativo, na produção de matéria seca, mais pronunciado no caso do primeiro (Quadro 2.2 e anexo I). A interacção do ferro com o manganês também não foi significativa, mas demonstra que a produção é superior quando estão reunidos os dois elementos e denotou uma tendência para o aumento de produção provocado por um destes elementos ser maior na ausência do outro. A calagem reduziu sempre a produção, aproximando-se do nível de significância a 5%, sem contudo o atingir, sendo a quebra mais acentuada nos casos em que se adicionaram quer o ferro, quer o manganês, sobretudo este último.

Quadro 2.1 - Valores médios das modalidades para a Matéria seca (g).

| Modalidade | floração | maturação |
|----------------|----------|-----------|
| NPK | 38,333a | 48,067a b |
| NPK+Fe | 47,333a | 44,167a b |
| NPK+Mn | 46,267a | 42,833a |
| NPK+Fe+Mn | 45,133a | 46,000a b |
| NPK+cal. | 39,600a | 53,067 b |
| NPK+cal.+Fe | 39,900a | 52,067a b |
| NPK+cal.+Mn | 38,333a | 50,433a b |
| NPK+cal.+Fe+Mn | 43,500a | 49,067a b |

Quadro 2.2 - Análise de variância da Matéria seca.

| Origem da variação | Valores de F | |
|----------------------------|--------------|-----------|
| | floração | maturação |
| Ferro | 2,352n.s. | 0,151n.s. |
| Manganês | 0,861n.s. | 1,285n.s. |
| Calagem | 3,275n.s. | 8,743** |
| Ferro x Manganês | 0,367n.s. | 0,707n.s. |
| Ferro x Calagem | 0,076n.s. | 0,042n.s. |
| Manganês x Calagem | 0,153n.s. | 0,079n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 2,977n.s. | 0,870n.s. |

Nota: ***; **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

Na fase de maturação a produção de matéria seca revelou uma diferença significativa entre a modalidade mais produtiva e a que o foi menos (Quadro 2.1). Neste caso, ao contrário do que sucedeu com o corte à floração, foram as modalidades a que foi fornecido carbonato de cálcio que foram as mais produtivas, tendo sido o efeito da calagem muito significativo (Quadro 2.2). O primeiro lugar foi assumido pela testemunha com calagem e seguindo-se, por ordem decrescente as modalidades com ferro, com manganês e, por último, com ferro e manganês todas com calagem. Das modalidades sem calagem, a mais produtiva foi a testemunha, seguindo-se com ferro e manganês, com ferro e, por último, com manganês. O ferro e o manganês tiveram efeitos depressivos na produção, de forma mais marcada neste último, embora não significativos (Quadro 2.2 e anexo I). Em termos de interações, embora nenhuma seja significativa, a existente entre o ferro e o manganês é nítida, verificando-se que o decréscimo de produção devido à adição de manganês é superior na ausência de ferro, do que na sua presença, isto é, a produção das modalidades sem manganês é superior sem ferro, enquanto que nas modalidades com manganês é superior com ferro. As interações entre a calagem e o ferro ou o manganês são fracas, sendo as produções sempre superiores na ausência destes dois últimos elementos, com ou sem calagem.

2.2.2. - Análise das terras da colheita à floração

2.2.2.1. - Matéria orgânica

Quadro 2.3 - Valores médios das modalidades para a Matéria orgânica (%).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Cal.+Mn | 1,180a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 1,257a b |
| NPK+Mn | 1,290a b |
| NPK+Cal. | 1,293a b |
| NPK+Fe+Mn | 1,323 b |
| NPK+Fe | 1,327 b |
| NPK | 1,337 b |
| NPK+Cal.+Fe | 1,373 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Houve diferenças significativas na percentagem de matéria orgânica das terras da colheita à floração (Quadro 2.3). A modalidade que apresentou o maior valor foi a do ferro com calagem, o que contrasta um pouco com as restantes modalidades com calagem, que tiveram tendência para apresentar os menores valores. O ferro teve um efeito positivo e a calagem um efeito negativo no teor de matéria orgânica, mas que não chegaram a ser significativos (Quadro 2.4 e Anexo II-1). O manganês reduziu o teor de matéria orgânica, de forma significativa. Em termos de interações, a mais forte, sem ser significativa, é a do manganês com a calagem: quando juntos, há redução do teor de matéria orgânica, o que não acontece com a calagem sem manganês (Anexo II-1).

Quadro 2.4 - Análise de variância da Matéria orgânica.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 3,176n.s. |
| Manganês | 1 | 7,686* |
| Calagem | 1 | 2,946n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,157n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,743n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 3,176n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,214n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.2. - Azoto total

Quadro 2.5 - Valores médios das modalidades para o Azoto total (%).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,064a |
| NPK+Cal. | 0,064a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,065a |
| NPK+Cal.+Fe | 0,068a b |
| NPK+Mn | 0,069a b |
| NPK+Fe | 0,069a b |
| NPK+Fe+Mn | 0,070a b |
| NPK | 0,075 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

As modalidades sem calagem foram as que apresentaram maior teor em azoto, havendo diferenças significativas (Quadro 2.5). Assim, o efeito do carbonato de cálcio foi significativamente negativo (Quadro 2.6 e Anexo II-2). O ferro e o manganês também tiveram efeitos negativos, mas pouco pronunciados. A nível de interacções, verifica-se que a dos três factores é a mais forte, dando origem a um dos menores valores de matéria orgânica no solo (Quadros 2.5 e 2.6).

Quadro 2.6 - Análise de variância do Azoto total.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,103n.s. |
| Manganês | 1 | 1,241n.s. |
| Calagem | 1 | 6,912* |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,085n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,883n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,061n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 2,325n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.3. - Fósforo assimilável

Quadro 2.7 - Valores médios das modalidades para o Fósforo assimilável (mg.kg^{-1} de P_2O_5).

| Modalidade | Média |
|----------------|-------------|
| NPK+Mn | 101,667a |
| NPK+Fe+Mn | 103,667a |
| NPK | 114,000a b |
| NPK+Fe | 114,000a b |
| NPK+Cal. | 127,667 b c |
| NPK+Cal.+Mn | 133,333 c |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 134,333 c |
| NPK+Cal.+Fe | 136,000 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Foram as modalidades com calagem que apresentaram maior quantidade de fósforo assimilável nas terras, havendo diferenças significativas (Quadro 2.7). O efeito da calagem foi altamente significativo (Quadro 2.8). O ferro mostrou tendência para aumentar o teor de fósforo contido nas terras, ao contrário do manganês (Anexo II-3). Nas interações, nota-se que o efeito positivo da calagem é maior, quer na presença do ferro, quer do manganês (Anexo II-3).

Quadro 2.8 - Análise de variância do Fósforo assimilável.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,503n.s. |
| Manganês | 1 | 1,363n.s. |
| Calagem | 1 | 37,581*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,111n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,210n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 2,783n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,341n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.4. - Potássio assimilável

Quadro 2.9 - Valores médios das modalidades para o Potássio assimilável (mg.kg^{-1} de K,O).

| Modalidade | Média |
|----------------|-------------|
| NPK+Fe+Mn | 86,667a |
| NPK+Mn | 88,333a |
| NPK+Fe | 96,333a b |
| NPK | 105,333a b |
| NPK+Cal.+Mn | 120,333 b c |
| NPK+Cal.+Fe | 120,667 b c |
| NPK+Cal. | 122,000 b c |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 134,000 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Também houve diferenças significativas nos teores de potássio, sendo as terras das modalidades com calagem que apresentaram maiores teores deste elemento (Quadro 2.9). O efeito da calagem foi altamente significativo (Quadro 2.10). O ferro, no cômputo global, tem uma ligeira tendência para aumentar o teor de potássio apresentado, contrariamente ao manganês que tem um efeito depressivo bem marcado (Anexo II-4).

Quadro 2.10 - Análise de variância do Potássio assimilável.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,005n.s. |
| Manganês | 1 | 0,380n.s. |
| Calagem | 1 | 24,446*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,842n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,893n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 2,481n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,099n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.5. - pH em água

Quadro 2.11 - Valores médios das modalidades para o $pH_{(H_2O)}$:

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK+Mn | 4,767a |
| NPK | 4,867a |
| NPK+Fe | 4,933a |
| NPK+Fe+Mn | 5,000a |
| NPK+Cal. | 6,700 b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 6,700 b |
| NPK+Cal.+Fe | 6,800 b |
| NPK+Cal.+Mn | 6,833 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

As modalidades com correcção calcária apresentam um pH do solo significativamente superior (Quadro 2.11). O ferro contribuiu ligeiramente para a elevação do pH e o manganês não pareceu afectá-lo muito (Anexo II-5).

Quadro 2.12 - Análise de variância do $pH_{(H_2O)}$:

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,877n.s. |
| Manganês | 1 | 0,000n.s. |
| Calagem | 1 | 687,342*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,055n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,370n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,055n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 1,973n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.6. - pH em cloreto de potássio

Quadro 2.13 - Valores médios das modalidades para o pH_(KCl):

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK | 3,900a |
| NPK+Fe | 3,900a |
| NPK+Mn | 3,900a |
| NPK+Fe+Mn | 3,900a |
| NPK+Cal. | 5,667 b |
| NPK+Cal.+Fe | 5,767 b |
| NPK+Cal.+Mn | 5,767 b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 5,767 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Os resultados obtidos permitem uma análise pouco diferente da feita anteriormente (Quadros 2.13 e 2.14, e Anexo II-6).

Quadro 2.14 - Análise de variância do pH_(KCl):

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,563n.s. |
| Manganês | 1 | 0,563n.s. |
| Calagem | 1 | 3052,563*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,562n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,563n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,563n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,563n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.7. - Hidrogénio de troca

Quadro 2.15 - Valores médios das modalidades para o Hidrogénio de troca (Cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹)

| Modalidade | Média |
|----------------|-----------|
| NPK+cal.+Mn | 2,077a |
| NPK+cal.+Fe | 2,200a |
| NPK+cal. | 2,633a |
| NPK+cal.+Fe+Mn | 2,853a |
| NPK+Mn | 4,030 b |
| NPK+Fe | 4,496 b |
| NPK+Fe+Mn | 4,680 b c |
| NPK | 5,503 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Como seria de esperar, foram as modalidades em que se procedeu à correcção da reacção do solo que apresentaram menor teor de hidrogénio de troca, diferindo significativamente das restantes (Quadro 2.15). Quer nas modalidades com calagem, quer nas outras, o menor valor aparece nas modalidades com manganês, seguindo-se as com ferro. A testemunha foi a que deteve o maior valor. Os efeitos da calagem e da interacção ferro x manganês foram altamente e muito significativos, respectivamente (Quadro 2.16). Quer o ferro, quer o manganês, influenciaram negativamente o hidrogénio de troca (Anexo II-7). Em relação às interacções, verifica-se que o manganês com o ferro têm tendência a aumentar a quantidade de hidrogénio detectada relativamente às situações em que se considera a sua acção individual (Anexo II-7).

Quadro 2.16 - Análise de variância do Hidrogénio de troca.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,000n.s |
| Manganês | 1 | 2,171n.s |
| Calagem | 1 | 122,06*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 12,526** |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,747n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 2,931n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,304n.s |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.8. - Cálculo de troca

Quadro 2.17 - Valores médios das modalidades para o Cálculo de troca ($\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$).

| Modalidade | Média |
|----------------|-----------|
| NPK | 1,257a |
| NPK+Fe | 1,273a |
| NPK+Mn | 1,273a |
| NPK+Fe+Mn | 1,287a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 3,713 b |
| NPK+Cal. | 4,183 b c |
| NPK+Cal.+Mn | 4,450 c |
| NPK+Cal.+Fe | 4,637 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Foram as modalidades com calagem que apresentam maior teor nesta base, sendo as diferenças significativas (Quadro 2.17). A calagem teve um efeito altamente significativo (Quadro 2.18). No cômputo global, quer o ferro, quer o manganês, mostram tendência para baixar o cálcio de troca contido no solo, ao contrário do que sucede se não se considerar o efeito da calagem (Anexo II-8). A interacção ferro x manganês foi significativa: o manganês na presença do ferro baixa o teor de cálcio apresentado pelos solos, mas sem ele, tende a aumentá-lo. A interacção dos três factores também foi significativa, sendo a modalidade em que estão todos presentes a que apresentou menos cálcio de troca, de entre as que levaram calagem (Quadro 2.18 e Anexo II-8).

Quadro 2.18 - Análise de variância do Cálculo de troca.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,227n.s. |
| Manganês | 1 | 1,390n.s. |
| Calagem | 1 | 500,752*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 5,041* |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,348n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 1,669n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 4,985* |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.9. - Magnésio de troca

Quadro 2.19 - Valores médios das modalidades para o Magnésio de troca ($\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$).

| Modalidade | Média |
|----------------|-----------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,197a |
| NPK+Cal.+Fe | 0,200a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,207a |
| NPK+Cal. | 0,257a b |
| NPK | 0,280 b c |
| NPK+Fe+Mn | 0,287 b c |
| NPK+Fe | 0,293 b c |
| NPK+Mn | 0,323 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

As modalidades sem calagem foram as que apresentaram teores significativamente maiores de magnésio de troca no solo, sendo o efeito da calagem altamente significativo (Quadros 2.19 e 2.20). O ferro mostra tendência para diminuir a quantidade de magnésio detectada, enquanto o manganês não a parece influenciar muito (Anexo II-9). A interação dos três factores, sem ser significativa, é a mais forte, sendo a modalidade em que estão reunidos a que apresenta menor teor de magnésio de troca no solo (Anexo II-9).

Quadro 2.20 - Análise de variância do Magnésio de troca.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 2,531n.s. |
| Manganês | 1 | 0,087n.s. |
| Calagem | 1 | 32,670*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,003n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,587n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 2,531n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 2,920n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.10. - Potássio de troca

Quadro 2.21 - Valores médios das modalidades para o Potássio de troca (cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Fe+Mn | 0,057a |
| NPK+Mn | 0,060a |
| NPK | 0,060a |
| NPK+Cal. | 0,080a b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,080a b |
| NPK+Cal.+Fe | 0,090a b |
| NPK+Fe | 0,107 b |
| NPK+Cal.+Mn | 0,110 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Com exceção da modalidade com ferro, são as modalidades com calagem que apresentam maior teor em potássio de troca, havendo diferenças significativas (Quadro 2.21). O efeito do carbonato de cálcio foi significativo (Quadro 2.22). O ferro mostrou tendência para aumentar o potássio encontrado, ao contrário do manganês, pelo menos no cômputo global (Anexo II-10). A interação ferro x manganês foi muito significativa, enquanto as interações ferro x calagem e manganês x calagem foram significativas (Quadro 2.22). Assim, o ferro e o manganês, quando associados, diminuem a quantidade de potássio encontrada, o que não acontece quando se encontram isolados. A calagem aumenta muito a quantidade de potássio de troca na ausência de ferro e na presença de manganês e aumenta-a também, mas menos, nas situações inversas (Anexo II-10).

Quadro 2.22 - Análise de variância do Potássio de troca.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,662n.s. |
| Manganês | 1 | 1,095n.s. |
| Calagem | 1 | 7,149* |
| Ferro x Manganês | 1 | 9,851** |
| Ferro x Calagem | 1 | 4,878* |
| Manganês x Calagem | 1 | 5,959* |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,122n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.11. - Sódio de troca

Quadro 2.23 - Valores médios das modalidades para o Sódio de troca ($\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$).

| Modalidade | Média |
|----------------|-----------|
| NPK+Cal.+Mn | 0,196a |
| NPK+Cal.+Fe | 0,200a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,220a |
| NPK | 0,240a b |
| NPK+Cal. | 0,283a b |
| NPK+Fe+Mn | 0,327 b c |
| NPK+Mn | 0,407 c d |
| NPK+Fe | 0,460 d |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Excluindo a testemunha, foram os solos das modalidades com calagem que apresentaram menores teores de sódio de troca, existindo diferenças significativas entre tratamentos (Quadro 2.23). O efeito do carbonato de cálcio foi altamente significativo (Quadro 2.24). O ferro contribuiu para aumentar a presença de sódio nos solos analisados e o manganês teve uma acção oposta, se se considerar a totalidade dos tratamentos (Anexo II-11). As interacções ferro x manganês e ferro x calagem foram significativas: o ferro sem manganês aumenta o sódio de troca presente no solo, mas quando o manganês também é adicionado, inverte-se o sucedido; o ferro isolado aumenta o sódio determinado, mas com a calagem ainda aumenta mais o efeito depressivo desta (Anexo II-11). A interacção dos três factores foi altamente significativa (Quadro 2.24).

Quadro 2.24 - Análise de variância do Sódio de troca.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,954n.s. |
| Manganês | 1 | 0,166n.s. |
| Calagem | 1 | 42,384*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 5,570* |
| Ferro x Calagem | 1 | 5,960* |
| Manganês x Calagem | 1 | 1,490n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 24,642*** |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.12. - Ferro extraível

Quadro 2.25 - Valores médios das modalidades para o Ferro extraível (mg.kg⁻¹).

| Modalidade | Média |
|----------------|------------|
| NPK+Cal.+Fe | 58,733a |
| NPK+Cal.+Mn | 60,633a |
| NPK+Cal. | 63,667a b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 65,600a b |
| NPK | 70,400 b c |
| NPK+Fe | 75,333 c |
| NPK+Fe+Mn | 77,500 c |
| NPK+Mn | 77,633 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

As modalidades sem calagem são as que apresentam maior teor de ferro nas terras analisadas, havendo diferenças significativas entre os tratamentos (Quadro 2.25). Ao contrário do que se poderia supor não foram as terras a que se adicionou ferro que apresentam maior concentração neste elemento, sendo mesmo a modalidade de calagem com ferro, que apresenta o menor valor (Quadro 2.25). A calagem teve um efeito altamente significativo (Quadro 2.26). O manganês e o ferro, naturalmente, têm tendência a aumentar a quantidade de ferro remanescente, mas este com um valor de F mais baixo (Quadro 2.26 e Anexo II-12). O efeito aumentativo do manganês é mais intenso na presença de ferro (Anexo II-12). A calagem reduz sempre a quantidade de ferro, mas menos na presença dos outros factores (Anexo II-12). A interacção dos três factores foi significativa, sendo esta a modalidade, de entre as que sofreram calagem, que apresenta maior valor de ferro extraível (Quadros 2.25 e 2.26).

Quadro 2.26 - Análise de variância do Ferro extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,487n.s. |
| Manganês | 1 | 3,653n.s. |
| Calagem | 1 | 59,916*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,487n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,474n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,646n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 4,673* |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.13. - Manganês extraível

Quadro 2.27 - Valores médios das modalidades para o Manganês extraível (mg.kg⁻¹).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Fe | 4,967a |
| NPK | 5,167a |
| NPK+Cal.+Fe | 6,967 b |
| NPK+Cal. | 7,167 b |
| NPK+Mn | 8,567 c |
| NPK+Fe+Mn | 9,033 c |
| NPK+Cal.+Mn | 12,400 d |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 13,133 d |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

Foram os solos a que se adicionou manganês que apresentaram valores mais elevados neste elemento, colocando-se em primeiro lugar a modalidade com os três factores, seguida da modalidade de calagem com manganês, vindo depois as duas modalidades com manganês, mas sem calagem, e pela mesma ordem (Quadro 2.27). Das modalidades sem manganês, são também as com calagem que apresentam maior concentração em manganês extraível, havendo, portanto, diferenças significativas entre os valores determinados nas diversas modalidades (Quadro 2.27). Os efeitos positivos da calagem e do manganês são altamente significativos (Quadro 2.28). O ferro afectou pouco a quantidade de manganês achada (Anexo II-13). A interacção ferro x manganês foi significativa e a manganês x calagem foi altamente significativa: o efeito do manganês é mais intenso quer na presença do ferro, quer da calagem (Anexo II-13).

Quadro 2.28 - Análise de variância do Manganês extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,277n.s. |
| Manganês | 1 | 710,324*** |
| Calagem | 1 | 284,177*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 5,109* |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,142n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 30,874*** |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,142n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.14. - Cobre extraível

Quadro 2.29 - Valores médios das modalidades para o Cobre extraível (mg.kg^{-1}).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Fe+Mn | 0,167a |
| NPK+Fe | 0,233a |
| NPK+Cal. | 0,267a |
| NPK+Cal.+Fe | 0,333a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,333a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,333a |
| NPK+Mn | 0,433a |
| NPK | 0,533a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Não houve diferenças significativas nos teores de cobre dos solos das diversas modalidades (Quadro 2.29). Os efeitos dos factores também não foram significativos, mas todos eles têm um efeito de diminuição da quantidade de cobre medida (Quadro 2.30 e Anexo II-14). Porém, o ferro juntamente com a calagem e o manganês com a calagem têm um efeito aumentativo, relativamente ao que sucede quando se considera a acção de um só deles. No caso do ferro com o manganês, sucede o contrário: os dois juntos agravam a acção que têm individualmente (Anexo II-14).

Quadro 2.30 - Análise de variância do Cobre extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 2,616n.s. |
| Manganês | 1 | 0,105n.s. |
| Calagem | 1 | 0,105n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,012n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 4,198n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,570n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,105n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.15. - Zinco extraível

Quadro 2.31 - Valores médios das modalidades para o Zinco extraível (mg.kg⁻¹).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK+Cal.+Fe | 0,083a |
| NPK+Fe+Mn | 0,100a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,100a |
| NPK+Cal. | 0,117a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,117a |
| NPK+Mn | 0,150a |
| NPK+Fe | 0,150a |
| NPK | 0,283 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P \geq 0,95)

A testemunha apresenta no solo um teor de zinco significativamente superior ao das restantes modalidades (Quadro 2.31). Os três factores tiveram um efeito negativo na quantidade de zinco que permaneceu no solo, sendo esse efeito significativo no caso do ferro, quase significativo a 5% no caso do manganês e muito significativo no caso da calagem (Quadro 2.32 e Anexo II-15). A interacção manganês x calagem foi significativa e as restantes interacções de dois factores, não o sendo, ficaram próximas: verifica-se que o efeito depressivo, quando se considera apenas um factor, é aumentado quando se consideram dois conjuntamente (Quadro 2.32 e Anexo II-15).

Quadro 2.32 - Análise de variância do Zinco extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 5,760* |
| Manganês | 1 | 4,000n.s. |
| Calagem | 1 | 10,240** |
| Ferro x Manganês | 1 | 2,560n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 4,000n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 5,760* |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,160n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.3. - Análise de terras à maturação das plantas

2.2.3.1. - Matéria orgânica

Quadro 2.33 - Valores médios das modalidades para a Matéria orgânica (%).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Fe+Mn | 1,303a |
| NPK+Mn | 1,310a |
| NPK+Cal.+Mn | 1,317a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 1,317a |
| NPK+Cal.+Fe | 1,340a |
| NPK+Cal. | 1,347a |
| NPK+Fe | 1,367a |
| NPK | 1,413a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Não houve diferenças significativas entre as modalidades (Quadro 2.33). Curiosamente, ou não, os quatro tratamentos com manganês são os que apresentam menor percentagem de matéria orgânica, ficando na cauda os sem calagem. Os efeitos dos factores também não foram significativos, notando-se uma tendência para reduzirem o teor de matéria orgânica, que, de uma maneira geral, é aumentada quando associados (Quadro 2.34 e Anexo II-1).

Quadro 2.34 - Análise de variância da Matéria orgânica.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,137n.s. |
| Manganês | 1 | 1,840n.s. |
| Calagem | 1 | 0,204n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,083n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,083n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,488n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,042n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.3.2. - Azoto total

Quadro 2.35 - Valores médios das modalidades para o Azoto total (%).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,049a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,071 b |
| NPK | 0,072 b |
| NPK+Cal. | 0,074 b |
| NPK+Mn | 0,074 b |
| NPK+Fe+Mn | 0,075 b |
| NPK+Fe | 0,078 b |
| NPK+Cal.+Fe | 0,079 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

A modalidade que juntou os três factores em estudo apresentou um valor inferior e significativamente diferente das restantes (Quadro 2.35). Todos os factores, no cômputo global, tiveram um efeito depressivo na quantidade de azoto encontrada nas amostras, sendo esse efeito significativo no caso do manganês (Quadro 2.36 e Anexo II-2). As interacções ferro x manganês e manganês x calagem foram significativas. As interacções ferro x calagem e dos três factores foram fortes, sem serem significativas (Quadro 2.36). Observa-se que quando se juntam dois factores, há uma quebra muito acentuada no valor de azoto detectado (Anexo II-2).

Quadro 2.36 - Análise de variância do Azoto total.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,403n.s. |
| Manganês | 1 | 5,527* |
| Calagem | 1 | 3,529n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 5,102* |
| Ferro x Calagem | 1 | 2,734n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 4,842* |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 2,572n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.3.3. - Fósforo assimilável

Quadro 2.37 - Valores médios das modalidades para o Fósforo assimilável (mg.kg^{-1} de P_2O_5).

| Modalidade | Média |
|----------------|------------|
| NPK | 77,000a |
| NPK+Fe | 78,667a |
| NPK+Mn | 79,333a |
| NPK+Fe+Mn | 85,333a b |
| NPK+Cal.+Mn | 92,000 b c |
| NPK+Cal. | 95,333 b c |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 97,000 c |
| NPK+Cal.+Fe | 99,333 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

São as quatro modalidades com calagem que apresentam os maiores valores deste nutriente no solo, com diferenças significativas (Quadro 2.37). O efeito da calagem foi altamente significativo (Quadro 2.38). O ferro e o manganês contribuíram também para um aumento do fósforo remanescente, mas de forma menos pronunciada. Em termos de interações, verifica-se que, de maneira geral, a acção conjugada de dois factores é maior do que a de cada um só (Anexo II-3).

Quadro 2.38 - Análise de variância do Fósforo assimilável.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 2,867n.s. |
| Manganês | 1 | 0,115n.s. |
| Calagem | 1 | 41,339*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,294n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,018n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 2,220n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,115n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.2.4. - Potássio assimilável

Quadro 2.39 - Valores médios das modalidades para o Potássio assimilável(mg.kg⁻¹ de K₂O).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------------|
| NPK | 98,000a |
| NPK+Fe+Mn | 99,000a |
| NPK+Mn | 100,333a |
| NPK+Fe | 104,000a b |
| NPK+Cal.+Fe | 107,333a b c |
| NPK+Cal.+Mn | 109,667a b c |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 117,333 b c |
| NPK+Cal. | 121,000 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

Também neste caso, são as quatro modalidades com calagem que apresentam maiores valores de potássio assimilável, com diferenças significativas (Quadro 2.39). O efeito da calagem foi muito significativo (Quadro 2.40). O ferro e o manganês contribuíram, de forma pouco pronunciada, para reduzir a quantidade de potássio determinada e o efeito da calagem é pouco afectado pela presença desses factores (Anexo II-4).

Quadro 2.40 - Análise de variância do Potássio assimilável.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,009n.s. |
| Manganês | 1 | 0,079n.s. |
| Calagem | 1 | 14,310** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,962n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,558n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,009n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 4,033n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.3.5. - pH em água

Quadro 2.41 - Valores médios das modalidades para o pH(H₂O).

| Modalidade | Média |
|----------------|-----------|
| NPK+Fe+Mn | 4,967a |
| NPK+Fe | 5,033a |
| NPK+Mn | 5,067a |
| NPK | 5,100a |
| NPK+Cal. | 6,500 b |
| NPK+Cal.+Mn | 6,567 b c |
| NPK+Cal.+Fe | 6,600 b c |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 6,667 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

As diferenças do valor de pH apresentado pelas modalidades com calagem são significativas, relativamente aos valores apresentados pelas modalidades que não levaram calagem (Quadro 2.41). O efeito da calagem foi altamente significativo (Quadro 2.42). O ferro e o manganês tiveram um efeito ligeiramente aumentativo (Anexo II-5). A interação ferro x calagem foi muito significativa (Quadro 2.42).

Quadro 2.42 - Análise de variância do pH(H₂O).

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,071n.s. |
| Manganês | 1 | 0,071n.s. |
| Calagem | 1 | 2444,643*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,071n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 8,643** |
| Manganês x Calagem | 1 | 3,500n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,071n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.3.6. - pH em cloreto de potássio

Quadro 2.43 - Valores médios das modalidades para o pH_(KCl).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK+Fe | 3,800a |
| NPK | 3,833a |
| NPK+Mn | 3,833a |
| NPK+Fe+Mn | 3,867a |
| NPK+Cal. | 5,267 b |
| NPK+Cal.+Fe | 5,267 b |
| NPK+Cal.+Mn | 5,267 b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 5,367 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

As conclusões a retirar são muito semelhantes às anteriores. A única alteração é que não houve interacções significativas (Quadros 2.43, 2.44 e Anexo II-6).

Quadro 2.44 - Análise de variância do pH_(KCl).

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,286n.s. |
| Manganês | 1 | 3,571n.s. |
| Calagem | 1 | 4375,000*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 3,571n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,286n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,143n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,143n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.3.7. - Hidrogénio e Bases de troca

Não foram determinadas porque se achou que as diferenças encontradas nalgumas amostras em que se chegou a fazer esta determinação, relativamente aos valores determinados à floração, não eram relevantes.

2.2.3.8. - Ferro extraível

Quadro 2.45 - Valores médios das modalidades para o Ferro extraível (mg.kg⁻¹).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------------|
| NPK+Cal. | 75,667a |
| NPK+Cal.+Mn | 79,100a b |
| NPK+Cal.+Fe | 82,133a b c |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 87,100 b c d |
| NPK | 90,567 c d e |
| NPK+Mn | 92,167 d e |
| NPK+Fe+Mn | 96,233 d.e |
| NPK+Fe | 97,767 e |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P \geq 0,95)

Quadro 2.46 - Análise de variância do Ferro extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 9,171** |
| Manganês | 1 | 0,993n.s. |
| Calagem | 1 | 38,510*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,035n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,142n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,962n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,302n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

Houve diferenças significativas entre as diversas modalidades, no que diz respeito ao ferro extraível doseado no solo (Quadro 2.45). As modalidades sem calagem foram as que apresentaram maior conteúdo neste elemento, sendo o primeiro lugar ocupado pela modalidade com ferro e o segundo pela modalidade com ferro e manganês. Nas modalidades com calagem, estes dois tratamentos também se colocaram à cabeça, mas por ordem inversa. De notar ainda, que a testemunha e a testemunha com calagem

ocuparam o último lugar, de entre as modalidades sem calagem e com calagem, respectivamente. O ferro teve um efeito muito significativo e a calagem um efeito altamente significativo (Quadro 2.46). O manganês teve um efeito positivo na quantidade de ferro extraída do solo (Anexo II-12).

2.2.3.9. - Manganês extraível

Quadro 2.47 - Valores médios das modalidades para o Manganês extraível (mg.kg⁻¹).

| Modalidade | Média |
|----------------|-----------|
| NPK+Fe | 5,967a |
| NPK | 6,067a |
| NPK+Cal. | 8,467 b |
| NPK+Cal.+Fe | 8,800 b c |
| NPK+Mn | 9,300 b c |
| NPK+Fe+Mn | 10,000 c |
| NPK+Cal.+Mn | 14,633 d |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 15,667 d |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Quadro 2.48 - Análise de variância do Manganês extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 2,563n.s. |
| Manganês | 1 | 273,108*** |
| Calagem | 1 | 174,646*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 1,491n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,390n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 22,039*** |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,007n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

Foram detectadas diferenças significativas entre os teores de manganês detectados nos vasos das diversas modalidades (Quadro 2.47). Os maiores valores registaram-se nas modalidades a que foi ministrado este nutriente, primeiro as modalidades com calagem e depois sem ela. Nos dois casos a primazia foi para as modalidades em que o manganês coexistiu com o ferro. Dos tratamentos sem manganês, foram as modalidades com calagem que maior quantidade dele continham. Os efeitos do manganês e da calagem foram altamente significativos (Quadro 2.48). O ferro contribuiu

um pouco para o aumento do manganês aparecido nos vasos (Anexo II-13). A interacção manganês x calagem foi altamente significativa: quando os dois factores se encontram reunidos, a quantidade de manganês extraída é superior, relativamente às situações em que o não estão (Quadro 2.48 e Anexo II-13).

2.2.3.10. - Cobre extraível

Quadro 2.49 - Valores médios das modalidades para o Cobre extraível (mg.kg⁻¹).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Cal. | 0,567a |
| NPK | 0,600a |
| NPK+Fe | 0,600a |
| NPK+Fe+Mn | 0,600a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,633a |
| NPK+Cal.+Fe | 0,667a |
| NPK+Mn | 0,733a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,767a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

Não houve diferenças significativas nos teores de cobre doseados nas terras das oito modalidades ensaiadas, assim como nenhum dos três factores teve efeito estatisticamente significativo, embora todos eles tenham mostrado, de forma geral, tendência em elevar a quantidade de cobre achada (Quadros 2.49, 2.50 e Anexo II-14). Da análise das interacções, ressalta que também nenhuma foi significativa, mas a do ferro com a calagem quase o foi: a presença de um só factor fez baixar a quantidade de cobre encontrada, enquanto a sua reunião a faz subir bastante (Quadro 2.50 e Anexo II-14).

Quadro 2.50 - Análise de variância do Cobre extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,281n.s. |
| Manganês | 1 | 2,531n.s. |
| Calagem | 1 | 0,281n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,281n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 3,781n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,031n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,781n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.3.11. - Zinco extraível

Quadro 2.51 - Valores médios das modalidades para o Zinco extraível (mg.kg^{-1}).

| Modalidade | Média |
|----------------|------------|
| NPK+Cal. | 0,533a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,533a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,600a b |
| NPK | 0,633a b |
| NPK+Cal.+Fe | 0,667a b c |
| NPK+Mn | 0,733 b c |
| NPK+Fe+Mn | 0,767 b c |
| NPK+Fe | 0,833 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Houve diferenças significativas na quantidade de zinco extraída das diversas modalidades, em que as sem calagem se superiorizaram, com excepção da modalidade com calagem e ferro, que se intercalou entre elas (Quadro 2.51). As modalidades com ferro ocuparam o primeiro, segundo, quarto e sexto lugares. O efeito do ferro foi significativo e o da calagem muito significativo (Quadro 2.52). O manganês teve, no cômputo global, um ligeiro efeito diminutivo no teor de zinco descoberto (Anexo II-15). Nenhuma das interacções foi significativa (Quadro 2.52).

Quadro 2.52 - Análise de variância do Zinco extraível.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 6,760* |
| Manganês | 1 | 0,040n.s. |
| Calagem | 1 | 14,440** |
| Ferro x Manganês | 1 | 1,960n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,040n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,360n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,360n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4. - Análise de plantas à floração

2.2.4.1. - Azoto total

Quadro 2.53 - Valores médios das modalidades para o Azoto total (%).

| Modalidade | Média |
|----------------|------------|
| NPK+Mn | 2,577a |
| NPK | 2,610a |
| NPK+Fe | 2,863a b |
| NPK+Fe+Mn | 2,960a b c |
| NPK+cal.+Fe+Mn | 3,150 b c |
| NPK+cal.+Mn | 3,163 b c |
| NPK+cal.+Fe | 3,310 c |
| NPK+cal. | 3,317 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Houve diferenças significativas entre os diversos tratamentos verificando-se maior conteúdo azotado nas plantas das modalidades com calagem, sendo o maior valor o da testemunha com calagem, seguindo-se, por ordem decrescente, também com calagem, as modalidades com ferro, com manganês e, por último, com ferro e manganês. Das modalidades sem calagem, a mais rica em azoto foi a com ferro e manganês, seguindo-se-lhe com ferro, a testemunha, e com manganês (Quadro 2.53). A calagem teve um efeito altamente significativo na absorção de azoto (Quadro 2.54). O ferro estimulou a absorção de azoto, enquanto o manganês teve um efeito depressivo, em ambos os casos pouco acentuados (Anexo III-1). Nenhuma das interações foi significativa, sendo a do ferro com a calagem a mais forte (Quadro 2.54).

Quadro 2.54 - Análise de variância do Azoto total.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 3,371n.s. |
| Manganês | 1 | 0,554n.s. |
| Calagem | 1 | 33,019*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,135n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 3,822n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 1,258n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,166n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.2. - Fósforo

Quadro 2.55 - Valores médios das modalidades para o Fósforo (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------------|
| NPK+Cal.+Fe | 0,360 a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,377 a b |
| NPK+Cal. | 0,390 a b c |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,390 a b c |
| NPK+Fe+Mn | 0,533 a b c d |
| NPK+Mn | 0,567 b c d |
| NPK+Fe | 0,573 c d |
| NPK | 0,670 d |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Houve diferenças significativas entre tratamentos (Quadro 2.55). As modalidades mais ricas em fósforo foram as sem calagem, verificando-se por ordem decrescente, a testemunha, com ferro, com manganês e, por último, com ferro e manganês. Das modalidades com calagem, as que apresentaram maior teor em fósforo foram as que levaram ferro e manganês conjuntamente, e a testemunha, seguindo-se, com manganês e, por fim, com ferro. A diminuição de absorção de fósforo pela calagem foi altamente significativa (Quadro 2.56). O ferro e o manganês também tiveram um efeito negativo na absorção de fósforo (Anexo III-2), mas não significativo (Quadro 2.56). As interações também não foram significativas (Quadro 2.56).

Quadro 2.56 - Análise de variância do Fósforo.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,794n.s. |
| Manganês | 1 | 0,593n.s. |
| Calagem | 1 | 25,238*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,420n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,474n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,945n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,015n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.3. - Potássio

Quadro 2.57 - Valores médios das modalidades para o Potássio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 1,373a |
| NPK+Fe | 1,393a |
| NPK+Cal.+Fe | 1,410a |
| NPK+Cal.+Mn | 1,460a |
| NPK+Cal | 1,493a |
| NPK+Mn | 1,527a |
| NPK+Fe+Mn | 1,630a |
| NPK | 2,000 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

A modalidade que apresentou maior teor de potássio foi a testemunha, que diferiu significativamente de todas as outras (Quadro 2.57). Seguem-se-lhe as modalidades com ferro e manganês, com manganês, a testemunha com calagem, com calagem e manganês, com calagem e com ferro, só com ferro e, finalmente, a modalidade que levou os três factores. Todos os elementos adicionados reduziram a absorção de potássio: a calagem de forma significativa, o ferro muito próximo do nível de significância a 5% e o manganês de forma menos significativa (Quadro 2.58 e Anexo III-3). As interações do ferro com o manganês e dos três elementos foram significativas: neste último caso, a presença simultânea dos três factores foi a que mais inibiu o consumo de potássio pelas plantas (Quadros 2.57 e 2.58).

Quadro 2.58 - Análise de variância do Potássio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 4,217n.s. |
| Manganês | 1 | 0,875n.s. |
| Calagem | 1 | 6,153* |
| Ferro x Manganês | 1 | 4,645* |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,033n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,258n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 4,733* |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.4. - Cálcio

Quadro 2.59 - Valores médios das modalidades para o Cálcio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK+Fe+Mn | 0,637a |
| NPK+Fe | 0,653a |
| NPK+Mn | 0,653a |
| NPK | 0,770a |
| NPK+Cal.+Fe | 2,003 b |
| NPK+Cal | 2,010 b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 2,010 b |
| NPK+Cal.+Mn | 2,027 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

A quantidade de cálcio detectada nas plantas dos tratamentos que incluíam calagem foi significativamente maior do que nas restantes e muito semelhante entre si (Quadro 2.59). O efeito da calagem foi altamente significativo, ao contrário do que se passou com o ferro e o manganês e com as interacções que não atingiram níveis de significância (Quadro 2.60). Quer o ferro, quer o manganês, tiveram efeitos negativos na absorção do cálcio (Anexo III-4). O aumento do teor de cálcio nas plantas, pela aplicação do carbonato de cálcio é praticamente o mesmo, na presença ou na ausência, quer do ferro, quer do manganês (Anexo III-4).

Quadro 2.60 - Análise de variância do Cálcio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,456n.s. |
| Manganês | 1 | 0,225n.s. |
| Calagem | 1 | 529,478*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,151n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,225n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,456n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,225n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.5. - Magnésio

Quadro 2.61 - Valores médios das modalidades para o Magnésio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|------------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,150a |
| NPK+Cal.+Fe | 0,163a b |
| NPK+Cal.+Mn | 0,163a b |
| NPK+Cal | 0,167a b |
| NPK+Fe | 0,170a b c |
| NPK+Mn. | 0,173a b c |
| NPK+Fe+Mn | 0,187 b c |
| NPK | 0,200 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

As plantas dos tratamentos sem calagem foram, precisamente, aquelas que se apresentaram mais ricas em magnésio, sendo as testemunhas as que apresentaram maior teor na sua constituição, quer nas modalidades com, quer sem calagem (Quadro 2.61). O efeito da calagem foi muito significativo e a interação dos três elementos aproximou-se da significância a 5% (Quadro 2.62). Os três factores reduzem sempre a absorção de magnésio, e a tendência é para reduzi-los ainda mais quando combinados a dois ou a três (Quadro 2.61 e Anexo III-5).

Quadro 2.62 - Análise de variância do Magnésio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,408n.s. |
| Manganês | 1 | 0,901n.s. |
| Calagem | 1 | 9,521** |
| Ferro x Manganês | 1 | 1,408n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,000n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,056n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 3,606n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.6. - Sódio

Quadro 2.63 - Valores médios das modalidades para o Sódio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,013a |
| NPK+Mn | 0,017a |
| NPK+Fe+Mn | 0,017a |
| NPK+Fe | 0,020a |
| NPK+Cal | 0,020a |
| NPK+Cal.+Fe. | 0,020a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,020a |
| NPK | 0,030a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Em relação a este elemento, não houve diferenças significativas na composição das plantas das diversas modalidades ensaiadas, assim como não foram significativos os efeitos dos factores em estudo e respectivas interacções (Quadros 2.63 e 2.64). Todos os três factores em estudo diminuem a absorção de sódio, mais ainda quando combinados, com excepção do manganês que, com ou sem calagem, não fez variar o teor de sódio (Anexo III-6).

Quadro 2.64 - Análise de variância do Sódio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,926n.s. |
| Manganês | 1 | 1,815n.s. |
| Calagem | 1 | 0,333n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,037n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,037n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,333n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,926n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.7. - Ferro

Quadro 2.65 - Valores médios das modalidades para o Ferro (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|-------------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 46,900a |
| NPK+Mn | 50,800a b |
| NPK+Fe+Mn | 52,200a b |
| NPK+Fe | 53,700a b |
| NPK+Cal | 57,167a b c |
| NPK+Cal.+Fe | 58,833a b c |
| NPK+Cal.+Mn | 69,000 b c |
| NPK | 74,950 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

Houve diferenças significativas entre as modalidades ensaiadas, no que diz respeito ao teor de ferro apresentado pelas plantas (Quadro 2.65). Ao contrário do que seria de esperar, não foram os tratamentos com ferro que vieram a dar plantas mais ricas neste elemento. Com excepção da testemunha, que se colocou no topo, e da modalidade que reúne os três factores que se colocou na cauda, foram as três restantes modalidades com calagem que apresentaram maior teor em ferro (Quadro 2.65). O ferro e a calagem fornecidos tiveram um efeito significativo na concentração de ferro nas plantas, negativo no primeiro caso e positivo no segundo (Quadro 2.66 e Anexo III-7). O manganês teve um efeito positivo quando se comparam os doze tratamentos com adição de manganês contra os doze sem essa adição (Anexo III-7). As interacções não foram significativas (Quadro 2.66). A calagem aumentou sempre a absorção de ferro, mas de forma mais marcada na ausência de ferro adicionado e na presença de manganês (Anexo III-7).

Quadro 2.66 - Análise de variância do Ferro.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 7,113* |
| Manganês | 1 | 0,167n.s. |
| Calagem | 1 | 7,940* |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,440n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,901n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,552n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,935n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.8. - Manganês

Quadro 2.67 - Valores médios das modalidades para o Manganês (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Cal.+Fe | 12,133a |
| NPK+Cal | 12,600a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 13,933a |
| NPK+Cal.+Mn | 15,233a |
| NPK+Fe | 51,933 b |
| NPK. | 57,367 b |
| NPK+Fe+Mn | 86,533 c |
| NPK+Mn | 89,267 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

As plantas das quatro modalidades sem calagem foram as que apresentaram maiores teores de manganês na sua constituição, significativamente diferentes dos apresentados pelas modalidades com calagem (Quadro 2.67). Nas modalidades sem calagem foram os tratamentos com manganês que levaram as plantas a apresentarem um maior teor deste elemento, significativamente superior às restantes. Nas modalidades com calagem aconteceu o mesmo, excepto que não houve diferenças significativas, entre elas (Quadro 2.67). Os efeitos positivo do manganês e negativo do carbonato de cálcio foram altamente significativos, assim como a interacção manganês x calagem: esta, mesmo na presença de manganês, provoca uma forte quebra no teor de manganês apresentado pelas plantas (Quadro 2.68 e Anexo II-8). O ferro teve um efeito depressivo na absorção do manganês (Anexo II-8).

Quadro 2.68 - Análise de variância do Manganês.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,630n.s. |
| Manganês | 1 | 32,129*** |
| Calagem | 1 | 341,328*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,022n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,262n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 24,599*** |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,080n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.9. - Cobre

Quadro 2.69 - Valores médios das modalidades para o Cobre (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Fe+Mn | 0,400a |
| NPK+Fe | 0,500a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,567a |
| NPK+Mn | 0,733a |
| NPK+Cal | 0,733a |
| NPK+Cal.+Fe. | 0,900a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,933a |
| NPK | 1,267a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

Não houve diferenças significativas entre tratamentos, no que diz respeito ao teor de cobre exibido pelas plantas, embora se note uma certa tendência para serem os tratamentos com calagem a ocuparem os lugares mais cimeiros, com excepção da testemunha, que se superiorizou e do tratamento com manganês que se intercalou (Quadro 2.69). Também não foram significativos os efeitos dos factores em estudo, ou das suas interacções (Quadro 2.70). De qualquer forma, o ferro e o manganês têm um efeito inibidor, enquanto a calagem tem um efeito estimulante da absorção de cobre, se confrontarmos os doze tratamentos contemplados com calagem versus os que a não levaram (Anexo III-9).

Quadro 2.70 - Análise de variância do Cobre.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,762n.s. |
| Manganês | 1 | 0,613n.s. |
| Calagem | 1 | 0,057n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,010n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,845n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,261n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,975n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.4.10. - Zinco

Quadro 2.71 - Valores médios das modalidades para o Zinco (mg.kg^{-1} da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 1,417a |
| NPK+Cal.+Mn | 1,767a b |
| NPK+Cal. | 2,033a b |
| NPK+Cal.+Fe | 2,167a b |
| NPK+Fe | 2,683a b |
| NPK+Mn | 2,817 b |
| NPK+Fe+Mn | 3,083 b |
| NPK | 4,500 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Houve diferenças significativas, relativamente ao teor de zinco apresentado pelas plantas das diversas modalidades (Quadro 2.71). Foram as quatro modalidades sem calagem que deram origem às plantas com maior concentração em zinco. Por isso, o efeito negativo da calagem foi altamente significativo (Quadro 2.72). O ferro e o manganês tiveram efeitos depressivos (Anexo III-10). As interações também não foram significativas, embora a dos três factores se aproxime da significância: é na presença dos três factores que o teor de zinco apresentado pelas plantas é mais baixo (Quadros 2.71 e 2.72).

Quadro 2.72 - Análise de variância do Zinco.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,797n.s. |
| Manganês | 1 | 3,046n.s. |
| Calagem | 1 | 18,705*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 1,474n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,024n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,041n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 3,793n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5. - Análise de plantas à maturação

2.2.5.1. - Azoto total

Quadro 2.73 - Valores médios das modalidades para o Azoto Total (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK | 0,950a |
| NPK+Fe | 0,997a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 1,443a |
| NPK+Mn | 1,180a |
| NPK+Cal.+Mn | 1,247a |
| NPK+Cal.+Fe | 1,247a |
| NPK+Fe+Mn | 1,297a |
| NPK+Cal. | 1,320a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P \geq 0,95)

Não houve diferenças significativas entre as diversas modalidades, assim como os efeitos dos factores e suas interacções também não foram significativos (Quadros 2.73 e 2.74). Apenas a interacção manganês x calagem se aproxima do nível de significância a 5%. O ferro não pareceu ter grande influência na concentração de azoto apresentada pelas plantas, nesta fase, enquanto o manganês e a calagem tiveram um efeito aumentativo (Anexo III-1). A calagem aumenta bastante a concentração de azoto na ausência do manganês, e um pouco menos na sua presença (Anexo III-1).

Quadro 2.74 - Análise de variância do Azoto total.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,001n.s. |
| Manganês | 1 | 0,921n.s. |
| Calagem | 1 | 2,098n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,012n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,853n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 3,683n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,074n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.2. - Fósforo

Quadro 2.75 - Valores médios das modalidades para o Fósforo (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,127a |
| NPK+Cal.+Fe | 0,133a |
| NPK+Cal. | 0,137a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,137a |
| NPK | 0,177a |
| NPK+Fe+Mn | 0,177a |
| NPK+Fe | 0,180a |
| NPK+Mn | 0,217a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

No caso do fósforo, apenas há a registar o efeito significativo da calagem na redução da absorção de fósforo pelas plantas (Quadro 2.76 e Anexo III-2). O ferro tem um efeito diminutivo enquanto o manganês tem um efeito aumentativo (Anexo III-2). Dois factores combinados, ou os três, têm um efeito depressivo mais acentuado (Quadro 2.75 e Anexo III-2).

Quadro 2.76 - Análise de variância do Fósforo.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,428n.s. |
| Manganês | 1 | 0,154n.s. |
| Calagem | 1 | 8,032* |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,428n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,093n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,321n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,230n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.3. - Potássio

Quadro 2.77 - Valores médios das modalidades para o Potássio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK+CaL. | 0,537a |
| NPK+CaL.+Mn | 0,547a |
| NPK+CaL.+Fe+Mn | 0,593a |
| NPK+CaL.+Fe | 0,607a |
| NPK+Fe+Mn | 0,760 b |
| NPK | 0,773 b |
| NPK+Mn | 0,823 b |
| NPK+Fe | 0,837 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Neste caso, há diferenças significativas entre as modalidades sem calagem, que apresentam maior concentração de potássio, sendo a modalidade com ferro a que apresenta o maior valor, e as modalidades com calagem, sendo também a modalidade com ferro a que apresenta maior valor (Quadro 2.77). Assim, o carbonato de cálcio teve um efeito altamente significativo na redução do teor de potássio apresentado pelas plantas (Quadros 2.78 e Anexo III-3). O ferro tem um ligeiro efeito positivo, e o manganês tem um efeito negativo, pouco marcado, pelo menos no cômputo global (Anexo III-3). A calagem diminui sempre o potássio nas plantas, não sendo, praticamente, afectada pelos outros dois factores (Anexo III-3).

Quadro 2.78 - Análise de variância do Potássio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,677n.s. |
| Manganês | 1 | 0,045n.s. |
| Calagem | 1 | 41,176*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 1,119n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,677n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,027n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,531n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.4. - Cálcio

Quadro 2.79 - Valores médios das modalidades para o Cálcio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|---------|
| NPK | 0,943a |
| NPK+Fe | 0,987a |
| NPK+Fe+Mn | 0,990a |
| NPK+Mn | 1,040a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 2,267 b |
| NPK+Cal.+Fe | 2,403 b |
| NPK+Cal.+Mn | 2,467 b |
| NPK+Cal. | 2,653 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

As plantas das modalidades com calagem apresentaram teores de cálcio superiores e significativamente diferentes, relativamente às que não a levaram, sendo, portanto, o efeito da calagem altamente significativo (Quadros 2.79 e 2.80). O ferro e o manganês têm efeitos ligeiramente depressivos no consumo de cálcio pelas plantas, de forma mais acentuada quando juntos (Anexo III-4). O aumento do teor de cálcio apresentado pelas plantas devido à calagem é menor na presença dos outros factores (Anexo III-4).

Quadro 2.80 - Análise de variância do Cálcio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,751n.s. |
| Manganês | 1 | 0,419n.s. |
| Calagem | 1 | 285,381*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,016n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,650n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 1,505n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,172n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.5. - Magnésio

Quadro 2.81 - Valores médios das modalidades para o Magnésio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|-----------|
| NPK+Cal.+Fe | 0,093a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,093a |
| NPK+Cal. | 0,107a b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,107a b |
| NPK+Fe+Mn | 0,120 b c |
| NPK | 0,123 c |
| NPK+Fe | 0,127 c d |
| NPK+Mn | 0,140 d |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Houve diferenças significativas entre as modalidades no que toca ao teor de magnésio detectado nos seus tecidos (Quadro 2.81). Assim, são as modalidades sem calagem que apresentam maior concentração neste elemento, sendo o efeito negativo da calagem altamente significativo (Quadros 2.81, 2.82 e Anexo III-5). O ferro tem também um efeito negativo e o manganês positivo, mas ambos ligeiros (Anexo III-5). A interacção dos três elementos revelou-se muito significativa, sendo a modalidade que os reuniu a todos, a par com a testemunha com calagem que maior teor de magnésio apresentaram, de entre as modalidades com calagem (Quadros 2.81 e 2.82). O efeito da calagem mostrou ser independente da presença ou ausência dos outros factores (Anexo III-5).

Quadro 2.82 - Análise de variância do Magnésio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,389n.s. |
| Manganês | 1 | 0,500n.s. |
| Calagem | 1 | 60,500*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,056n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 1,389n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,500n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 12,500** |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.6. - Sódio

Quadro 2.83 - Valores médios das modalidades para o Sódio (% da matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Cal.+Fe | 0,017a |
| NPK+Cal.+Mn | 0,017a |
| NPK+Cal. | 0,020a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 0,023a |
| NPK+Fe+Mn | 0,023a |
| NPK | 0,023a |
| NPK+Fe | 0,023a |
| NPK+Mn | 0,027a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Não houve diferenças significativas entre modalidades, no tocante à concentração em sódio apresentada pelas plantas analisadas (Quadro 2.83). No entanto, o efeito do carbonato de cálcio foi significativo na redução do teor de sódio das plantas (Quadro 2.84 e Anexo III-6). O ferro não teve qualquer efeito e o manganês contribuiu muito ligeiramente para o aumento do mesmo teor (Anexo III-6). Em termos de interações, nenhuma é significativa, mas o efeito de redução da calagem, é minorado pela presença dos outros factores (Quadro 2.84 e Anexo III-6).

Quadro 2.84 - Análise de variância do Sódio.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,000n.s. |
| Manganês | 1 | 0,571n.s. |
| Calagem | 1 | 5,143* |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,571n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,571n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,000n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 2,286n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.7. - Ferro

Quadro 2.85 - Valores médios das modalidades para o Ferro (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Fe | 172,783a |
| NPK+Mn | 174,117a |
| NPK+Fe+Mn | 174,475a |
| NPK+Cal.+Fe | 188,000a |
| NPK+Cal.+Mn | 236,133a |
| NPK | 242,733a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 286,500a |
| NPK+Cal. | 293,067a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si (P≥0,95)

Verifica-se que as diferenças apresentadas no que diz respeito à composição em ferro das plantas das diversas modalidades, não chegam a ser significativas (Quadro 2.85). Com exceção da testemunha, são as modalidades com calagem que apresentam maior teor em ferro. Quer nas modalidades com calagem, quer sem ela, é o tratamento com ferro que dá origem às plantas com menor concentração neste elemento (Quadro 2.85). O ferro fornecido tem, portanto, um efeito negativo sobre a sua presença na planta, tal como o manganês (Anexo III-7). A calagem, pelo contrário, aumenta o teor de ferro, de forma significativa (Quadro 2.86 e Anexo III-7). Também a interação ferro x manganês se revelou significativa: o ferro e o manganês veem o seu efeito negativo minorado quando juntos. O efeito da calagem é diminuído pelo ferro e aumentado pelo manganês (Quadro 2.86 e Anexo III-7).

Quadro 2.86 - Análise de variância do Ferro.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 1,455n.s. |
| Manganês | 1 | 0,061n.s. |
| Calagem | 1 | 5,406* |
| Ferro x Manganês | 1 | 4,799* |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,021n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 1,108n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,682n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.8. - Manganês

Quadro 2.87 - Valores médios das modalidades para o Manganês (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Cal.+Fe | 12,950a |
| NPK+Cal. | 16,050a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 16,067a |
| NPK+Cal.+Mn | 17,350a |
| NPK+Fe | 44,833 b |
| NPK | 48,767 b |
| NPK+Fe+Mn | 71,600 c |
| NPK+Mn | 72,667 c |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Verificaram-se diferenças significativas entre as modalidades, sendo as que não levaram calagem que apresentam maior teor em manganês (Quadro 2.87). Quer nestas, quer nas outras, são os tratamentos com manganês que aparecem à cabeça: o manganês teve um efeito positivo muito significativo (Quadro 2.88 e Anexo III-8). O ferro reduziu a absorção de manganês de forma não significativa, e a calagem de forma altamente significativa (Quadro 2.88 e Anexo III-8). A interacção manganês x calagem revelou-se significativa: a calagem quase anula o efeito do manganês (Quadro 2.88 e Anexo III-8).

Quadro 2.88 - Análise de variância do Manganês.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,262n.s. |
| Manganês | 1 | 9,041** |
| Calagem | 1 | 91,721*** |
| Ferro x Manganês | 1 | 0,065n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,001n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 6,374* |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,003n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.9. - Cobre

Quadro 2.89 - Valores médios das modalidades para o Cobre (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|--------|
| NPK+Cal.+Mn | 1,667a |
| NPK+Fe | 2,000a |
| NPK+Mn | 2,000a |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 2,000a |
| NPK+Cal.+Fe | 2,333a |
| NPK+Cal. | 2,667a |
| NPK | 2,833a |
| NPK+Fe+Mn | 3,167a |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Não houve diferenças significativas no teor de cobre apresentado pelas plantas das diversas modalidades (Quadro 2.89). Os efeitos dos factores também não foram significativos, sendo a tendência o ferro aumentar o consumo de cobre e o manganês e a calagem reduzirem-no (Quadro 2.90 e Anexo III-9). As interações não foram significativas, igualmente, embora a interação ferro x manganês disso se aproxime: o manganês reduz menos a absorção de cobre na presença de ferro (Quadro 2.90 e Anexo III-9). O efeito da calagem não foi alterado pelo ferro mas foi-o pelo manganês (Anexo III-9).

Quadro 2.90 - Análise de variância do Cobre.

| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,050n.s. |
| Manganês | 1 | 0,450n.s. |
| Calagem | 1 | 0,800n.s. |
| Ferro x Manganês | 1 | 3,200n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,050n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 1,250n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,800n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.2.5.10. - Zinco

Quadro 2.91 - Valores médios das modalidades para o Zinco (mg.kg^{-1} de matéria seca).

| Modalidade | Média |
|----------------|----------|
| NPK+Cal.+Fe | 4,950a |
| NPK+Cal. | 7,017a b |
| NPK+Cal.+Fe+Mn | 7,017a b |
| NPK+Cal.+Mn | 7,050a b |
| NPK+Fe | 8,950 b |
| NPK+Mn | 9,917 b |
| NPK+Fe+Mn | 10,150 b |
| NPK | 10,300 b |

Nota: Valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si ($P \geq 0,95$)

Houve diferenças significativas no teor de zinco apresentado pelas plantas, sendo as dos tratamentos sem calagem que o apresentaram em maior quantidade (Quadro 2.91). Apenas o efeito do carbonato de cálcio se revelou muito significativo, em termos de redução do consumo de zinco pelas plantas (Quadro 2.92 e Anexo III-10). O ferro também mostrou tendência para reduzir este consumo, ao contrário do manganês, que denota uma ligeira tendência para o aumentar (Anexo III-10). A calagem reduz sempre a concentração de zinco nas plantas, de forma mais pronunciada com o ferro e menos com o manganês (Anexo III-10).

Quadro 2.92 - Análise de variância do Zinco.

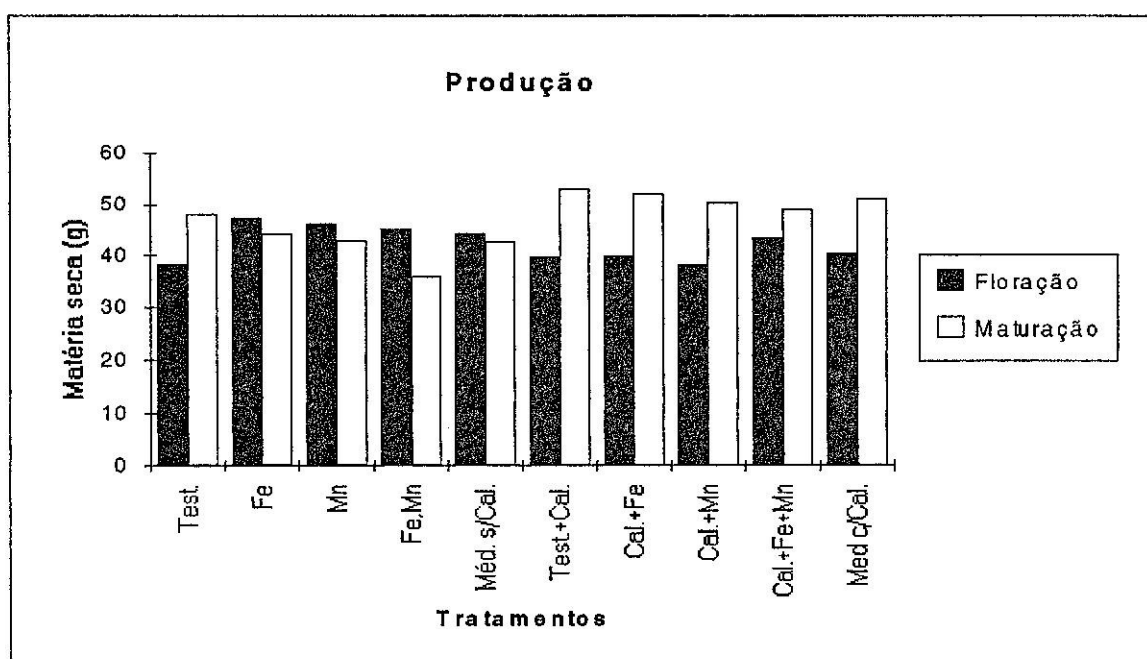
| Origem da variação | g.l. | Valores de F |
|----------------------------|------|--------------|
| Ferro | 1 | 0,898n.s. |
| Manganês | 1 | 0,739n.s. |
| Calagem | 1 | 15,320** |
| Ferro x Manganês | 1 | 1,136n.s. |
| Ferro x Calagem | 1 | 0,084n.s. |
| Manganês x Calagem | 1 | 0,143n.s. |
| Ferro x Manganês x Calagem | 1 | 0,018n.s. |

Nota: ***, **, *, significativo a 0,1%, 1,0% e 5,0%, respectivamente; n.s.= não significativo

2.3. - Discussão dos resultados

2.3.1. - Produção de matéria seca

À floração, a calagem diminuiu a quantidade de matéria seca produzida, enquanto o ferro e o manganês contribuíram para o seu aumento. No final do ciclo, a situação inverteu-se, para os três factores em causa (Figura 1; Quadro 2.1; Anexo I).



Figural - Produção à floração e à maturação.

Legenda:

Test. = testemunha

Fe = com ferro

Mn = com manganês

Fe,Mn = com ferro e manganês

Méd. s/cal = média dos tratamentos sem cal

Test.+Cal. = com calagem

Cal.+Fe = com calagem e ferro

Cal.+Mn = com calagem e manganês

Cal.+Fe+Mn = com calagem, ferro e manganês

Méd c/cal = média dos tratamentos com calagem

2.3.2. - Análise de terras e plantas na fase de floração

O manganês mostrou, com significado estatístico, tendência para reduzir a matéria orgânica do solo, tal como a calagem, embora de forma não tão marcada. O ferro, pelo contrário, pareceu contribuir para o aumento desse componente do solo. O efeito negativo do manganês prevalece, mesmo quando "consociado" com o ferro ou com a calagem. O ferro parece conseguir anular o efeito da calagem (Quadros 2.3, 2.4 e Anexo II-1).

Os solos sem calagem apresentaram maior teor de azoto total, e as respectivas plantas apresentam-se menos ricas neste nutriente. O ferro e o manganês tiveram pouca influência no teor de azoto apresentado pelos solos ou pelas plantas (Quadros 2.5 e 2.53; Anexos II-2 e III-1).

A calagem contribuiu de forma altamente significativa para que houvesse maiores teores de fósforo e potássio assimiláveis no solo, possivelmente devido à reacção do solo ser mais favorável a uma maior disponibilidade destes nutrientes (Quadros 2.7 a 2.10). No entanto, esta maior disponibilidade nos solos, também poderá ser reflexo de uma menor absorção pelas plantas, visto que, foram as plantas dos vasos com calagem que se apresentaram com menores teores daqueles elementos (Quadros 2.55 e 2.57). O ferro fornecido influenciou de forma positiva a disponibilidade de fósforo e potássio, ao contrário do manganês. A acção da calagem foi ainda mais evidente quando associada com o ferro ou o manganês, ou ambos (Anexos II-3 e II-4; Quadros 2.7 e 2.9). Quer o ferro quer o manganês tiveram uma influência negativa nos teores de fósforo e potássio apresentados pelas plantas (Anexos III-2 e III-3). Verificou-se ainda que são as plantas testemunha que apresentam maiores teores destes dois elementos (Quadros 2.55 e 2.57).

O ferro e o manganês, praticamente não tiveram qualquer influência sobre o pH do solo, enquanto a calagem produziu o efeito esperado (Quadros 2.11 e 2.13; Anexos II-5 e II-6).

Como seria previsível, a calagem (com carbonato de cálcio) aumentou o grau de saturação do complexo de troca em cálcio, diminuindo-o em relação ao hidrogénio, magnésio e sódio, sempre com elevado grau de significância. O potássio de troca constituiu excepção, ao ter o seu teor aumentado (Quadros 2.15 a 2.24).

O ferro e o manganês, de forma geral, mostram tendência, mais ou menos ligeira, para reduzir a saturação em catiões de troca (Anexos II-7 a II-11).

A calagem aumentou substancialmente o teor de cálcio nas plantas e reduziu o de magnésio e sódio (Quadros 2.59 e 2.61; Anexo III-6). O ferro e o manganês diminuíram sempre o teor destes três nutrientes (Anexos III-4 a III-6).

A subida de pH provocada pela calagem contribuiu acentuadamente para a redução do ferro extraível, anulando quase por completo o efeito do ferro adicionado, enquanto o manganês contribuiu para uma maior disponibilidade (Quadro 2.25 e Anexo II-12). O ferro adicionado desencadeou uma reacção de rejeição pelas plantas, que se

apresentaram mais ricas nele quando não foi fornecido. A calagem teve um efeito positivo marcado na absorção de ferro, enquanto o manganês não parece ter afectado muito (Anexo III-7).

O manganês aplicado aumentou a quantidade do mesmo que foi extraída do solo, e, um pouco ao contrário do que seria de prever, a calagem até aumentou a sua disponibilidade, mais ainda quando aplicados juntos (Quadro 2.27 e Anexo II-13). De qualquer forma, os valores registados ainda são considerados baixos (Santos, 1991). O ferro afectou muito pouco a disponibilidade do manganês, aumentando-a (Anexo II-13). As plantas mostraram-se, de facto, acumuladoras de manganês, mas a calagem diminuiu extraordinariamente a sua absorção e o ferro também, embora pouco (Quadro 2.67 e Anexo III-8).

A disponibilidade de cobre foi sempre diminuída pela adição de um ou dois factores, embora sem significado estatístico (Quadro 2.30 e Anexo II-14). A absorção de cobre foi prejudicada pelo ferro e pelo manganês, mas sem significado estatístico e a calagem quase não teve efeito sobre essa mesma absorção (Anexo III-9 e Quadro 2.70). A modalidade testemunha foi a que se apresentou mais rica em cobre, quer no solo, quer nas plantas (Quadros 2.29 e 2.69).

Todos os factores influenciaram negativamente a disponibilidade de zinco, assim como a sua absorção (Anexos II-15 e III-10). A modalidade testemunha foi a que se apresentou mais rica em zinco, quer no solo, quer nas plantas (Quadros 2.31 e 2.71).

2.3.3. - Análise de terras e plantas na fase de maturação

O manganês manteve a tendência demonstrada à floração para diminuir o teor de matéria orgânica do solo, tal como a calagem e, neste caso, o mesmo aconteceu com o ferro (Quadro 2.33 e Anexo II-1). De qualquer forma, as diferenças encontradas nesta fase são muito mais ténues do que aquando da floração. Será provável que, conforme o anexo IV, o primeiro seja inibidor do desenvolvimento do sistema radicular, enquanto a segunda terá contribuído para uma mineralização mais intensa da matéria orgânica. Na maturação encontrou-se mais matéria orgânica no solo, do que na floração (Anexo II-1) e no solo inicial (1,29%) devido, provavelmente, ao aumento do sistema radicular.

Nesta fase, o efeito negativo da calagem sobre o teor de azoto total apresentado pelos solos, manteve-se, mas sem significado estatístico (Quadro 2.36 e Anexo II-2). As plantas das modalidades com calagem continuam, no entanto, a apresentar tendência para serem mais ricas neste elemento (Anexo III-1). É de supor que a calagem

tenha contribuído para um melhor aproveitamento do azoto existente no solo e, eventualmente, uma vez que não foi excessiva, um melhor funcionamento da simbiose com as bactérias fixadoras de azoto. Ou então, o desenvolvimento e/ou o funcionamento dos nódulos foi mesmo prejudicado, mas o azoto mineral foi mais eficiente.

O manganês teve uma acção negativa sobre esta característica do solo, com significância a nível estatístico (Quadros 2.35 e 2.36), tendo aumentado a presença de azoto nas plantas (Anexo III-1). O ferro também contribui para a diminuição do azoto determinado, não só nos solos, mas também nas plantas mas de forma mais insignificante (Anexos II-2 e III-1). Os efeitos negativos no solo são particularmente vigorosos quando os factores se encontram reunidos a dois e a três (Anexo II-2 e Quadro 2.35). As plantas apresentaram menor teor de azoto à maturação, devendo este ter migrado para a semente (Anexo III-1). Quanto aos solos, o azoto total determinado à maturação é ligeiramente superior ao que foi obtido à floração (Anexos II-2) e sempre maior que o do solo inicial (0,034%).

A calagem, de forma muito marcada, o ferro e até o manganês, embora muito pouco, influenciaram positivamente o teor de fósforo assimilável determinado (Quadros 2.37 e 2.38; Anexo II-3), continuando a verificar-se que uma maior disponibilidade do solo deve ter sido devida a menor absorção pelas plantas, uma vez que, o ferro e a calagem desfavoreceram o teor de fósforo encontrado nas plantas (Quadro 2.75 e Anexo III-2). O manganês, pelo contrário, teve um efeito positivo, sob este aspecto (Anexo III-2).

Nesta fase, a quantidade de potássio assimilável no solo continua a ser afectada favoravelmente pela calagem, enquanto o ferro e o manganês têm uma acção desfavorável (Quadro 2.39 e Anexo II-4). Nas plantas, a maior disponibilidade de potássio no solo, provocada pela calagem, correspondeu uma menor absorção deste elemento (Quadro 2.77). O ferro contribuiu para aumentar esta absorção, enquanto o manganês teve um comportamento incaracterístico (Anexo III-3).

De referir que o consumo de fósforo desde a floração até à maturação foi substancial (Anexo II-3), outro tanto não se tendo verificado com o potássio (Anexo II-4). De realçar também o muito menor teor destes elementos nas plantas colhidas na fase de maturação (Anexos III-2 e III-3), o que pressupõe migração para a semente, ou, no caso do potássio, algum efeito de diluição. De notar também que logo à floração há muito maior disponibilidade de fósforo no solo (Anexo II-3), do que havia no solo inicial (20mg.kg^{-1}), o que poderá ser devido à adubação de fundo, mas também a alguma solubilização do fósforo provocada pelas raízes da tremocilha.

Relativamente ao pH do solo, não há alterações dignas de registo em relação ao que se notou à floração, exceptuando uma certa tendência para os valores de $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ serem ligeiramente inferiores, tendência essa que não é acompanhada pelo $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ (Quadros 2.41 e 2.43 e Anexos II-5 e II-6).

Relativamente ao que foi afirmado na fase de floração, no que diz respeito ao cálcio, magnésio e sódio, nas plantas, há a distinguir que o manganês contribuiu para algum aumento do teor de magnésio nas plantas e que o ferro e o manganês praticamente não tiveram influência sobre o sódio. Notou-se ainda que, da floração para a maturação, há um aumento da concentração do cálcio, diminuição do magnésio e manutenção ou ligeiro aumento do sódio (Quadros 2.79, 2.81 e 2.83; Anexos III-4 a III-6).

O efeito do ferro adicionado, na quantidade do mesmo extraível do solo, no final do ciclo da cultura, foi mais notável, embora a calagem continue a ter um forte papel na redução dessa quantidade (Quadro 2.45 e Anexo II-12). Mais uma vez, houve um certo sinergismo do manganês, relativamente à quantidade de ferro apurada (Anexo II-12). A respeito do que foi referido acerca do ferro encontrado nas plantas, manteve-se a rejeição ao ferro adicionado e o efeito positivo da calagem, mas o manganês já mostrou um efeito antagónico nítido, contribuindo para a diminuição do ferro (Anexo III-7). Os teores de ferro determinados no solo foram sempre muito maiores que no solo inicial ($31,5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), e mais ainda na maturação (Anexo II-12), o que deverá ser atribuído ao poder solubilizante que normalmente se reconhece aos exsudados radiculares dos *Lupinus*. Provavelmente, o ferro inicialmente disponível no solo mais o solubilizado pela planta seriam suficientes para uma nutrição adequada, o que terá desencadeado a rejeição ao ferro quando ele foi adicionado (Anexo III-7). De salientar ainda, que o teor de ferro detectado nas plantas aumentou extraordinariamente desde a floração até à maturação (Anexo III-7), de qualquer forma, sempre acima dos valores mais referidos para deficiência e abaixo dos mais referidos para toxicidade: 50 e $500\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de matéria seca, respectivamente (Santos, 1991).

A situação verificada aquando da floração, relativamente ao manganês extraído do solo, e encontrado nas plantas, repetiu-se exactamente da mesma forma (Quadros 2.47 e 2.87; Anexos II-13 e III-8). De notar apenas, que há tendência a que o teor de manganês determinado nas plantas à maturação seja inferior ao da floração (Anexo III-8), o que pressupõe migração para as sementes e ainda que nos tratamentos com calagem, quer à floração, quer à maturação, os valores apresentados pelas plantas estão abaixo do limiar de deficiência: 15 a $25\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Santos, 1991), embora ela não se tenha notado nas plantas. Por outro lado, o valor inicialmente apresentado pelo solo ($5,1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) foi pouco

aumentado, pelo que é provável que o manganês fornecido tenha sido consumido pelas plantas, apesar do poder solubilizante ter funcionado, como prova o aumento verificado nas quantidades detectadas à maturação relativamente às da floração (Anexo II-13).

Na maturação, a disponibilidade de cobre mostrou tendência a ser beneficiada por todos os factores, embora não muito (Anexo II-14). A calagem e o manganês tenderam a diminuir o cobre absorvido e o ferro a aumentar, mas sempre de forma ténue. Da floração até à maturação, a concentração de cobre nas plantas aumentou muito (Anexo III-9). Notou-se que a disponibilidade de cobre era ligeiramente inferior à do solo inicial ($0,5\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) na fase de floração, enquanto na maturação é ligeiramente superior (Anexo II-14).

O ferro inverteu o seu papel relativamente ao que se tinha passado na fase de floração, aumentando agora o teor de zinco existente no solo. A calagem manteve a sua acção diminuidora e o manganês teve uma influência mais incaracterística (Anexo II-15). A calagem reduziu nitidamente a absorção de zinco, tal como o ferro, enquanto o manganês mostrou tendência, pouco clara, em aumentá-la (Quadro 2.91 e Anexo III-10). A disponibilidade de zinco aumentou desde a floração até à maturação mantendo-se acima do valor ($0,0\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) determinado no solo que se utilizou (Anexo II-15). O teor nas plantas aumentou também substancialmente (Anexo III-10).

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES GERAIS E COMENTÁRIO FINAL

3.1. - Conclusões gerais

A correcção da reacção do solo utilizado, pobre em manganês e medianamente provido em ferro, até um valor próximo da neutralidade, teve um efeito negativo na produção de matéria seca da tremocilha cortada na fase de floração. No entanto, a redução operada não é significativa do ponto de vista estatístico, pelo que opinamos que a correcção calcária, quando necessária, não deve deixar de ser feita por causa do cultivo desta espécie, uma vez que ela não se comportou como planta calcífuga, e os benefícios advindos desta operação serem muitos. Além disso, a melhor qualidade da forragem obtida com o corte nesta fase, deverá compensar algum ganho em quantidade, que se venha a verificar pelo facto de se retardar o corte.

A planta, em termos de produção, respondeu favoravelmente à aplicação de ferro, de manganês e dos dois factores simultaneamente, mas não se mostrou muito exigente neles, dado que os aumentos de produção conseguidos não foram significativos, do ponto de vista estatístico. O efeito negativo da calagem foi minorado pela aplicação conjunta de ferro, de manganês, e dos dois, pelo que, será sempre de considerar a possibilidade de, ao fazer a calagem, aplicar também estes dois nutrientes, quando tal for viável, e o objectivo for a produção na fase de floração.

A calagem revelou-se benéfica, com efeito estatisticamente significativo, na quantidade de restolho produzida, que, podendo não ser o objectivo principal, não deixa de ter muito interesse nalguns sistemas agro-pecuários, ainda em prática entre nós. Assim, não se tendo apreciado a produção de grão, pode-se no entanto considerar que a calagem, em solos ácidos, do tipo do estudado, para além dos efeitos benéficos trazidos ao solo, pode conduzir a um aumento dos subprodutos da cultura, que têm uma boa valorização na alimentação animal. A aplicação de ferro e manganês, ou dos dois em conjunto, mostrou-se contraproducente, contribuindo para alguma diminuição neste tipo de produção

O manganês e a calagem, quando aplicados, mostraram tendência para diminuir o teor de matéria orgânica do solo.

A calagem reduziu a quantidade de azoto total encontrada no solo mas aumentou-a nas plantas.

A calagem aumentou as disponibilidades de fósforo e potássio assimiláveis no solo, mas diminuiu os teores destes elementos nas plantas.

O ferro aumentou sempre a disponibilidade de fósforo assimilável, mas diminuiu o seu teor nas plantas. Relativamente ao potássio, enquanto na floração aumenta a disponibilidade e diminuí o teor, na maturação provoca os efeitos contrários.

O manganês diminuiu a disponibilidade e o teor de fósforo à floração mas aumentou-os à maturação. Relativamente ao potássio a tendência é para diminuir sempre a sua disponibilidade e teor nas plantas.

Quer a calagem, quer o ferro, quer o manganês, contribuíram para a diminuição do hidrogénio de troca no solo, o qual se apresentou sempre em valores inferiores ao do solo inicial. A calagem aumentou o cálcio e o potássio de troca, acima dos valores iniciais no solo, e diminuiu o magnésio abaixo desse mesmo valor e o sódio, embora este se apresente com valores acima do determinado na análise do solo inicial. A calagem aumentou substancialmente o teor de cálcio e reduziu o de magnésio e sódio nas plantas. O ferro reduziu sempre o teor destes três elementos. O manganês, reduziu o teor de cálcio, magnésio, e sódio, mas estes dois últimos, só à floração: na maturação sucedeu o contrário, no caso do magnésio, enquanto no sódio nada se pode concluir.

O ferro adicionado ao solo provocou diminuição do seu teor nas plantas e um aumento muito pequeno da sua disponibilidade no solo. A calagem diminuiu a sua disponibilidade no solo e o manganês aumentou-a. Em termos de absorção pelas plantas, ela foi favorecida pela calagem e tendencialmente reduzida pelo manganês.

A calagem aumentou a disponibilidade de manganês no solo mas diminuiu drasticamente a sua absorção pelas plantas. O manganês adicionado aumentou a sua disponibilidade no solo e o seu teor nas plantas. O ferro influenciou pouco o comportamento do manganês, aumentando a sua disponibilidade e diminuindo a sua absorção.

A disponibilidade de cobre mostrou-se maior na floração sempre que se adicionou qualquer um dos factores, enquanto na maturação sucedeu o contrário. A absorção é prejudicada pelo ferro e manganês à floração e tendencialmente pelo manganês e pela calagem na maturação.

A disponibilidade e absorção de zinco foram negativamente afectadas por todos os factores na floração. Na maturação, a calagem provocou exactamente o mesmo, o ferro aumentou a disponibilidade e reduziu a absorção, enquanto o manganês não parece ter uma influência muito certa.

3.2. - Comentário final

Um estudo desta natureza, com prazo certo, tem obrigatoriamente de ser limitado na sua fiabilidade e nos seus objectivos. Assim, ao terminar, consideramos necessário repetir os ensaios efectuados em vasos por mais alguns anos e, posteriormente, instalá-los no campo. Só assim será possível tirar conclusões mais alicerçadas.

Por outro lado, será também de extremo interesse, considerar futuramente os efeitos do ferro, do manganês e da calagem no desenvolvimento do sistema radicular e na produção de grão, do *Lupinus luteus*, que não puderam ser contemplados, por agora.

BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, J. - Ficha técnica da cultura do tremçoço. Ao Serviço da Lavoura, 195, Outono 1991, p. 33-36.
- ALEIXO, A. L. - Rotações e técnicas culturais com referência às proteaginosas. I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.197-205.
- ALMEIDA, J.M. - Mutantes doces no melhoramento de forragens. Agronomia Lusitana, 25 (4), E.A.N., Oeiras, 1963, p.311-323.
- ALVES, J.A.; TAVARES, M.M.S. - Fertilização mineral e correcção do solo. II - A acidez do solo e sua correcção. Melhoramento, Vol. 25, Estação Nacional de Melhoramento de Plantas, Elvas, 1976.
- ARNON, I. - Crop production in dry regions. Vol. 1 - Background and principles. Agronomia Lusitana, 33, E.A.N., Oeiras, 1973, p.481-602.
- BARRADAS, G. J. P. A. - Estudo comparativo do crescimento e produção de *Lupinus albus* e *Lupinus luteus* em diferentes densidades de população. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, 1991.
- BARRADAS, G.; PINTO, P. A. - Notas sobre a fitotecnia dos tremçoceiros. Lavoura Moderna, 1992 p.13-16.
- BORIE, F. - Phosphorus. - Proceedings of 6th International Lupin Conference, Chile, 1990, p.192-200.
- BURBANO, C.; MUZQUIZ, M.; BOUTHELIER, V.; CASINELLO, M. - Determinacion de CA, NA, K, FE, ZN, MN y CU en harinas de distintas variedades de cinco especies del genero *Lupinus* L.. Proceedings of II International Lupin Conference, Terremolinos, 1982, p.191-193.
- CALADO, A. D. G. C. - As pastagens e forragens da Beira Interior. Breve caracterização. Pastagens e Forragens, 9(1), 1988, p.7-26.
- CARDOSO, J. C. - A Classificação dos Solos de Portugal (Nova versão). Separata do Boletim de Solos, 17, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário, 1974.
- CHÁVEZ, E; UNTIED, P. - Program for Lupine, Tarwi or Chocho production in the Peruvian Highlands: Outlook and Limitations. Proceedings of the First International Lupine Workshop, Eschborn, 1982, p.263-280.
- CONFAGRI (Conf. Nac. das Coop. Agríc. de Portugal, CCRL) - Reforma da PAC. Flash, 5, Junho 1992.
- DIAS, J. C. S. - O sistema de agricultura do Campo Albicastrense. Pastagens e Forragens, 9(1), 1988, p.27-43.

- DINKELAKER, B.; ROMHELD, V.; MARSCHNER, H. - Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). Plant cell environment, 12, 1989, p.285-292.
- DORDIO, A. M. - Importância da produção de proteaginosas em Portugal. I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.1-9.
- DUTHION, C.; AMARGER, N. - Effects of inoculation on the yield and nitrogen content of two species of Lupine growing in neutral or slightly calcareous soil. Proceedings of II International Lupin Conference, Terremolinos, 1982, p.163-165.
- F.A.O. - FAO-UNESCO Soil map of the World (Revised legend) World Soil Resources Report, 60 Rome, 1988.
- FARIA, P. L.; SOUSA, R. B. - Potencialidades da tremocilha (*Lupinus Luteus* L.) como planta forrageira na zona do pliocénico. Pastagens e Forragens, 3, 1982, p.203-217.
- FRANCO, J. A. - Nova Flora de Portugal (Continente e Açores) Vol.1. Lisboa, 1971.
- FURGAL, J.F. - Ph. D. Thesis. University of Manitoba, 1974.
- GARDNER, W. K.; PARBERRY, D.G. - Proteoid root morphology and function in *Lupinus albus*. Plant and Soil, 60, 1981, p.143-147.
- GARDNER, W. K.; PARBERRY, D. G.; BARBER, D. A. - The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. I - Some characteristics of the soil/root interface. Plant and Soil, 68, 1982a, p.19-32.
- GARDNER, W. K.; PARBERRY, D. G.; BARBER, D. A. - The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. II - The effect of varying phosphorus supply and soil type on some characteristics of the soil/root interface. Plant and Soil, 68, 1982b, p.33-41.
- GARDNER, W. K.; BARBER, D. A.; PARBERRY, D. G. - The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III - The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. Plant and Soil, 70, 1983, p.107-124.
- GARDNER, W. K.; BOUNDY, K. A. - The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. IV - The effect of interplanting wheat and white lupin on the growth and mineral composition of the two species. Plant and Soil, 70, 1983, p.391-402.
- GATAULINA, G. G. - Symbiotic and mineral nitrogen in Lupin nutrition. Proceedings of 6th International Lupin Conference, Chile, 1990, p.180-191.

- GIRARD, C. - Le Lupin: une culture dont on reparle...comme protéagineux. Bulletin de la F.N.A.M.S. (Federation Nationale des Agriculteurs Multiplicateurs de Semences), 60, Printemps 1979, p.33-36.
- GLADSTONES, J. S. - Lupins as crop plants. Field Crop Abstracts, 23(2), 1970, p.123-148.
- GLADSTONES, J. S. - Lupins of the mediterranean region and Africa. Technical Bulletin of the Australian department of Agriculture of Western Australia, 26, 1974, p. 3-48.
- GOMEZ, K. A.; GOMEZ, A. A. - Statistical procedures for agricultural research, 2^a ed., John Wiley & sons, New York, 1984.
- GUILLET, B.; SOUCHIER, B. - Amorphous and Crystalline Oxyhydroxides and Oxides in Soils (Iron, Aluminium, Manganese, Silicon), in: Constituents and properties of soils (BONNEAU, M; SOUCHIER, B), Academic Press, London, 1982, p. 21-42.
- HACKBARTH, J.; PAKENDORF, K. V. - *Lupinus mutabilis* sweet eine kulturpflanze der Zukunft? Z. Pflanzen., 63, 1970, p.237-245.
- HACKBARTH, J.; TROLL, H. J. - Les Lupins en tant que legumineuses a graines et plantes fourrageres. Handbuch der Pflanzenzüchtung, Vol. IV, 1959, p.1-51.
- HARASIMOWICZ, G.; H. - The effect of fertilization with microelements and magnesium on the development and the yield of Yellow Lupine/ *Lupinus luteus* L Proceedings of 5th International Lupin Conference, Poznan, 1988, p.488-493.
- I.T.C.F. (Institut Technique des cereales et des Fourrages) - Le Lupin blanc: culture-utilisation. Paris, 1984.
- JUSTE, C. - Trace elements essential to the growth of plants, and toxicity phenomena, in: Constituents and properties of soils (BONNEAU, M; SOUCHIER, B), Academic Press, London, 1982, p. 462-466.
- KHOLODOV, A. G. - Limitations to the growth of highly productive low-alcaloid plants of *Lupinus luteus*. Proceedings of the First International Lupine Workshop, Eschborn, 1982, p.225-246.
- LAKANEN, E.; ERVIÖ, R. - Comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Fimm., vol. 23, 1971, p. 223-232.
- LOPES, M. C.; MOREIRA, A. C. - Micoses da parte aérea de proteaginosas em Portugal. I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.313-324.
- LOPEZ-BELLIDO, L.; FUENTES, M. - Lupin crop as an alternative source of protein. Advances in Agronomy, 40, 1986, p.239-295.

- MARTINS, J. M. N. - Alguns aspectos sobre a caracterização e avaliação do germoplasma nos tremoceiros (*Lupinus* spp.). I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.207-223.
- MEHLICH, A. - Rapid determination of cation and anion exchange properties and pH of soils. Journ. AOAC, vol. 36, 1953, p.445-457.
- MEREDITH, H. L. - Lupin Field Nutrition Studies. Proceedings of 5th International Lupin Conference, Poznan, 1988, p.482-487.
- MEREDITH, H. L. - Lupin Nutrition Studies. Proceedings of 6th International Lupin Conference, Chile, 1990, p.201-212.
- MIRANDA, M^a. J. C. M.; REBELO, D. C. - Produção de semente de tremocilhas (*Lupinus luteus* L.) em solos arenosos. Pastagens e Forragens, 11(2), 1990, p.191-202.
- MONREAL, A. R. - El cultivo del Altramuz. I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.118-151.
- MOREIRA, N. - Cultura de forragens e pastagens. Instituto Universitário de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 1980.
- MORAGHAN, J. T. - The Growth of White Lupine on a Calciaquoll. Soil Scientific Society American Journal, 55, 1991, p.1353-1357.
- NESTLER, H.; MOURA, P.; SERRANO, J. E. - Efeito da espécie e do esmagamento nas curvas de secagem dos fenos, em condições climáticas do Alentejo. Pastagens e Forragens, 11(1), 1990, p.195-217.
- OSTROVSKAIA, L. K.; TRUCH, V. V.; MIKHAILIK, O. M. - Superoxide dismutase activation in response to lime-induced chlorosis. New Phytologist, 114 (1), 1990, p.39-45.
- PARREIRA, J. S. - Importância da utilização da tremocilha e gramicha como plantas forrageiras em solos pobres ou empobrecidos. Pastagens e Forragens, 2, 1981, p.113-122.
- PLANCQUAERT, P. - Protection intégrée des cultures de Lupin. Proceedings of III International Lupin Conference, La Rochelle, 1984, p.237-267.
- RADJAGUKGUK, B. - Manganese nutrition in Lupins: Plant response and the relationship of manganese supply to its distribution. Ph. D. Thesis Soil Science and Plant Nutrition, University of Western Australia, 1981.
- REAY, P. F.; WAUGH, C. - Mineral-element composition of *Lupinus albus* and *Lupinus angustifolius* in relation to manganese accumulation. Plant and Soil, 60, 1981, p.435-444.

- REBELO, D. C.; SEQUEIRA, E. M.; LUCAS, M. D.; SILVA, A. F. - Contribuição para o estudo do Manganésio em alguns tremoços Portugueses. Pastagens e Forragens, 3, 1982, p.131-141.
- ROBSON, A. D. - The Mineral Nutrition of Lupins. Proceedings of fourth International Lupin Conference, Geraldton, 1986, p.84-95.
- ROSA, C. A. - Estudo comparativo em talhões experimentais de erosão de cereais, forragens e pastagens - Vale formoso. Pastagens e Forragens, 3, 1982, p.9-20.
- SALGUEIRO, T. - Pastagens e forragens. Col. Agricultura moderna, 9, Clássica Ed., Lisboa, s.d..
- SALGUEIRO, T. - Proteaginosas para alimentação animal. Série técnica, 14, Dir. Geral de Agricultura, M.A.F.A., Lisboa, Junho 1984, p.1-12.
- SALGUEIRO, T. - A problemática do cultivo das proteaginosas em Portugal. I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.11-32.
- SALGUEIRO, T. - Os sectores das proteaginosas e forragens secas-situação e perspectivas. Lisboa, D. G. P. A., 1988.
- SANTOS, J. Q. - A fertilização na cultura das leguminosas. Pastagens e Forragens, 3, 1982, p.79-90.
- SANTOS, J. Q. - Fertilização.Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos. Publicações Europa-América, Mem-Martins, 1991.
- SEQUEIRA, E. M.; REBELO, D. C.; BRANCO, M. A. C. - Efeito da calagem e da adubação fosfatada nos teores de manganésio em sementes de *Lupinus albus* L. em alguns solos do País. I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.207-223.
- SILVA, G. M. - Notas sobre as pragas entomológicas das proteaginosas, em especial dos tremoceiros. I Jornadas Portuguesas de Proteaginosas, Oeiras, 1986, p.207-223.
- SOUSA, R. B. - Características das proteínas de reserva da tremocilha (*Lupinus luteus* L.). Dissertação de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 1983.
- SOUSA, R. B.; MARTINS, J. N. - Utilização de tremoceiros. Pastagens e Forragens, 7, 1986, p.19-25.
- SUBRAMANIAM, P.; PARADINAS, R. M.; RODRIGUEZ-BARRUECO, C. - Nodulation and growth of *Lupinus angustifolius* L. as influenced by varied pH levels of the rooting medium. Proceedings of II International Lupin Conference, Terremolinos, 1982, p.134-138.
- TAKAI, T.; KAMURA, T. - The mechanism of reduction in water logged paddy soils. Folia Microbiol. Praha II, 1966, p.304-313.

- TANG, C.; ROBSON, A. D.; DILWORTH, M. J - The role of iron in nodulation and nitrogen fixation in *Lupinus angustifolius* L.. New Phytologist, 114 (2), 1990, p.173-182.
- TEMPRANO, F.; RODRIGUEZ-NAVARRO, D. N.; SANTAMARÍA, C.; ORIVE, R. - Response of Lupin Yields to *Bradyrhizobium* sp. (*Lupinus*) inoculation in soils of Southern Spain. Proceedings of 6th International Lupin Conference, Chile, 1990, p.221-227.
- THOMPSON, L. M.; TROEH, F. R. - Soils and Soil Fertility. Tata McGraw-Hill Publishing Company LTD., New Delhi, 1979.
- TORRES, M. O.; COSTA, A. S. V.; CALOURO, F. - Prospecção dos factores de natureza nutricional limitantes do desenvolvimento de algumas espécies forrageiras em solos derivados de calcário da Serra do Sicó. Pastagens e Forragens, 9(1), 1988, p.143-153.
- VARENNE, A.; CARVALHO, I. - Toxicity or Deficiency of several Trace elements can be correlated with some Isoenzyme activities. Poster apresentado no VIII Colóquio Internacional para a Optimização da Nutrição das Plantas, 1992.
- VASCONCELOS, E.; CABRAL, F.; MONJARDINO, P. - Impacto no solo da aplicação de lamas celulósicas. Pedon, 9, Sociedade Portuguesa de Ciências do Solo, Lisboa, Julho 1990, p.95-101.
- VASCONCELLOS, J. C. - Ervas forrageiras. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Ministério da Economia, Lisboa, 1962.
- VAVILOV, P. P.; POSYPANOV, G. S. - Legume crops and protein production problem. Rosselhosizdat, Moscovo, 1983.
- VILLAX, E.J. - La culture des plantes fourragères dans la région méditerranéenne occidentale. Rabat, INRA, 1963.

Anexo I

Tabela de médias dos valores da produção de matéria seca nas fases de floração e maturação (sem vagens)

Tabela de médias para a Matéria seca (g).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 42,300 | 48,213 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 40,633 | 48,600 |
| | 1 | 12 | 43,967 | 47,825 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 41,292 | 49,342 |
| | 1 | 12 | 43,308 | 47,083 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 44,267 | 45,267 |
| | 1 | 12 | 40,333 | 51,158 |
| A B | 0 0 | 6 | 38,967 | 50,567 |
| | 0 1 | 6 | 42,300 | 46,633 |
| | 1 0 | 6 | 43,617 | 48,117 |
| | 1 1 | 6 | 44,317 | 47,533 |
| A C | 0 0 | 6 | 42,300 | 45,450 |
| | 0 1 | 6 | 38,967 | 51,750 |
| | 1 0 | 6 | 46,233 | 45,083 |
| | 1 1 | 6 | 41,700 | 50,567 |
| B C | 0 0 | 6 | 42,833 | 46,117 |
| | 0 1 | 6 | 39,750 | 52,567 |
| | 1 0 | 6 | 45,700 | 44,417 |
| | 1 1 | 6 | 40,917 | 49,750 |

Anexo II

**Tabelas de médias dos valores dos parâmetros analisados no solo nas fases de
floração e maturação**

Tabela de médias para a Matéria orgânica (%).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 1,298 | 1,339 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 1,275 | 1,347 |
| | 1 | 12 | 1,320 | 1,332 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 1,333 | 1,367 |
| | 1 | 12 | 1,263 | 1,312 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 1,319 | 1,348 |
| | 1 | 12 | 1,276 | 1,330 |
| A B | 0 0 | 6 | 1,315 | 1,380 |
| | 0 1 | 6 | 1,235 | 1,313 |
| | 1 0 | 6 | 1,350 | 1,353 |
| | 1 1 | 6 | 1,290 | 1,310 |
| A C | 0 0 | 6 | 1,313 | 1,362 |
| | 0 1 | 6 | 1,237 | 1,332 |
| | 1 0 | 6 | 1,325 | 1,335 |
| | 1 1 | 6 | 1,315 | 1,328 |
| B C | 0 0 | 6 | 1,332 | 1,390 |
| | 0 1 | 6 | 1,333 | 1,343 |
| | 1 0 | 6 | 1,307 | 1,307 |
| | 1 1 | 6 | 1,218 | 1,317 |

Tabela de médias para o Azoto total (%).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 0,068 | 0,072 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,068 | 0,073 |
| | 1 | 12 | 0,068 | 0,071 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,069 | 0,076 |
| | 1 | 12 | 0,067 | 0,068 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,070 | 0,075 |
| | 1 | 12 | 0,065 | 0,068 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,069 | 0,073 |
| | 0 1 | 6 | 0,067 | 0,073 |
| | 1 0 | 6 | 0,068 | 0,079 |
| | 1 1 | 6 | 0,067 | 0,062 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,072 | 0,073 |
| | 0 1 | 6 | 0,065 | 0,072 |
| | 1 0 | 6 | 0,069 | 0,077 |
| | 1 1 | 6 | 0,066 | 0,064 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,072 | 0,075 |
| | 0 1 | 6 | 0,066 | 0,077 |
| | 1 0 | 6 | 0,069 | 0,075 |
| | 1 1 | 6 | 0,065 | 0,060 |

Tabela de médias para o Fósforo assimilável (mg.kg⁻¹ de P₂O₅).

| Combinação de níveis | Nº de dados | floração | maturação | |
|----------------------|-------------|----------|-----------|--------|
| Grande média | 24 | 120,583 | 88,000 | |
| A: Ferro | 0 | 119,167 | 85,917 | |
| | 1 | 122,000 | 90,083 | |
| B: Manganês | 0 | 122,917 | 87,583 | |
| | 1 | 118,250 | 88,417 | |
| C: Calagem | 0 | 108,333 | 80,083 | |
| | 1 | 132,833 | 95,917 | |
| A B | 0 0 | 6 | 120,833 | 86,167 |
| | 0 1 | 6 | 117,500 | 85,667 |
| | 1 0 | 6 | 125,000 | 89,000 |
| | 1 1 | 6 | 119,000 | 91,167 |
| A C | 0 0 | 6 | 107,833 | 78,167 |
| | 0 1 | 6 | 130,500 | 93,667 |
| | 1 0 | 6 | 108,833 | 82,000 |
| | 1 1 | 6 | 135,167 | 98,167 |
| B C | 0 0 | 6 | 114,000 | 77,833 |
| | 0 1 | 6 | 131,833 | 97,333 |
| | 1 0 | 6 | 102,667 | 82,333 |
| | 1 1 | 6 | 133,833 | 94,500 |

Tabela de médias para o Potássio assimilável (mg.kg⁻¹ de K₂O).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 109,208 | 107,083 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 109,000 | 107,250 |
| | 1 | 12 | 109,417 | 106,917 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 111,083 | 107,583 |
| | 1 | 12 | 107,333 | 106,583 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 94,167 | 100,333 |
| | 1 | 12 | 124,250 | 113,833 |
| A B | 0 0 | 6 | 113,667 | 109,500 |
| | 0 1 | 6 | 104,333 | 105,000 |
| | 1 0 | 6 | 108,500 | 105,667 |
| | 1 1 | 6 | 110,333 | 108,167 |
| A C | 0 0 | 6 | 96,833 | 99,167 |
| | 0 1 | 6 | 121,167 | 115,333 |
| | 1 0 | 6 | 91,500 | 101,500 |
| | 1 1 | 6 | 127,333 | 112,333 |
| B C | 0 0 | 6 | 100,833 | 101,000 |
| | 0 1 | 6 | 121,333 | 114,167 |
| | 1 0 | 6 | 87,500 | 99,667 |
| | 1 1 | 6 | 127,167 | 113,500 |

Tabela de médias para o pH_(H₂O):

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 5,825 | 5,813 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 5,792 | 5,808 |
| | 1 | 12 | 5,858 | 5,817 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 5,825 | 5,808 |
| | 1 | 12 | 5,825 | 5,817 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 4,892 | 5,042 |
| | 1 | 12 | 6,758 | 6,583 |
| A B | 0 0 | 6 | 5,783 | 5,800 |
| | 0 1 | 6 | 5,800 | 5,817 |
| | 1 0 | 6 | 5,867 | 5,817 |
| | 1 1 | 6 | 5,850 | 5,817 |
| A C | 0 0 | 6 | 4,817 | 5,083 |
| | 0 1 | 6 | 6,767 | 6,533 |
| | 1 0 | 6 | 4,967 | 5,000 |
| | 1 1 | 6 | 6,750 | 6,633 |
| B C | 0 0 | 6 | 4,900 | 5,067 |
| | 0 1 | 6 | 6,750 | 6,550 |
| | 1 0 | 6 | 4,883 | 5,017 |
| | 1 1 | 6 | 6,767 | 6,617 |

Tabela de médias para o pH_(KCl).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 4,821 | 4,563 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 4,808 | 4,550 |
| | 1 | 12 | 4,833 | 4,575 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 4,808 | 4,542 |
| | 1 | 12 | 4,833 | 4,583 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 3,900 | 3,833 |
| | 1 | 12 | 5,742 | 5,292 |
| A B | 0 0 | 6 | 4,783 | 4,550 |
| | 0 1 | 6 | 4,833 | 4,550 |
| | 1 0 | 6 | 4,833 | 4,533 |
| | 1 1 | 6 | 4,833 | 4,617 |
| A C | 0 0 | 6 | 3,900 | 3,833 |
| | 0 1 | 6 | 5,717 | 5,267 |
| | 1 0 | 6 | 3,900 | 3,833 |
| | 1 1 | 6 | 5,767 | 5,317 |
| B C | 0 0 | 6 | 3,900 | 3,817 |
| | 0 1 | 6 | 5,717 | 5,267 |
| | 1 0 | 6 | 3,900 | 3,850 |
| | 1 1 | 6 | 5,767 | 5,317 |

Tabela de médias para o Hidrogénio de troca ($\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração |
|----------------------|-----|-------------|----------|
| Grande média | | 24 | 3.559 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 3.561 |
| | 1 | 12 | 3.558 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 3.708 |
| | 1 | 12 | 3.410 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 4.678 |
| | 1 | 12 | 2.441 |
| A B | 0 0 | 6 | 4,068 |
| | 0 1 | 6 | 3,053 |
| | 1 0 | 6 | 3,348 |
| | 1 1 | 6 | 3,766 |
| A C | 0 0 | 6 | 4,767 |
| | 0 1 | 6 | 2,355 |
| | 1 0 | 6 | 4,588 |
| | 1 1 | 6 | 2,527 |
| B C | 0 0 | 6 | 5,000 |
| | 0 1 | 6 | 2,417 |
| | 1 0 | 6 | 4,355 |
| | 1 1 | 6 | 2,465 |

Tabela de médias para o Cálcio de troca ($\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração |
|----------------------|-----|-------------|----------|
| Grande média | | 24 | 2,759 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 2,791 |
| | 1 | 12 | 2,728 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 2,838 |
| | 1 | 12 | 2,681 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 1,273 |
| | 1 | 12 | 4,246 |
| A B | 0 0 | 6 | 2,720 |
| | 0 1 | 6 | 2,862 |
| | 1 0 | 6 | 2,955 |
| | 1 1 | 6 | 2,500 |
| A C | 0 0 | 6 | 1,265 |
| | 0 1 | 6 | 4,317 |
| | 1 0 | 6 | 1,280 |
| | 1 1 | 6 | 4,175 |
| B C | 0 0 | 6 | 1,265 |
| | 0 1 | 6 | 4,410 |
| | 1 0 | 6 | 1,280 |
| | 1 1 | 6 | 4,082 |

Tabela de médias para o Magnésio de troca ($\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração |
|----------------------|-----|-------------|----------|
| Grande média | | 24 | 0,255 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,267 |
| | 1 | 12 | 0,244 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,258 |
| | 1 | 12 | 0,253 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,296 |
| | 1 | 12 | 0,215 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,268 |
| | 0 1 | 6 | 0,265 |
| | 1 0 | 6 | 0,247 |
| | 1 1 | 6 | 0,242 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,302 |
| | 0 1 | 6 | 0,232 |
| | 1 0 | 6 | 0,290 |
| | 1 1 | 6 | 0,198 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,287 |
| | 0 1 | 6 | 0,228 |
| | 1 0 | 6 | 0,305 |
| | 1 1 | 6 | 0,202 |

Tabela de médias para o Potássio de troca (cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração |
|----------------------|-----|-------------|----------|
| Grande média | | 24 | 0,080 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,078 |
| | 1 | 12 | 0,083 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,084 |
| | 1 | 12 | 0,077 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,071 |
| | 1 | 12 | 0,090 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,070 |
| | 0 1 | 6 | 0,085 |
| | 1 0 | 6 | 0,098 |
| | 1 1 | 6 | 0,068 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,060 |
| | 0 1 | 6 | 0,095 |
| | 1 0 | 6 | 0,082 |
| | 1 1 | 6 | 0,085 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,083 |
| | 0 1 | 6 | 0,085 |
| | 1 0 | 6 | 0,058 |
| | 1 1 | 6 | 0,095 |

Tabela de médias para o Sódio de troca ($\text{cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração |
|----------------------|-----|-------------|----------|
| Grande média | | 24 | 0,292 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,282 |
| | 1 | 12 | 0,302 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,296 |
| | 1 | 12 | 0,288 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,358 |
| | 1 | 12 | 0,225 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,262 |
| | 0 1 | 6 | 0,302 |
| | 1 0 | 6 | 0,330 |
| | 1 1 | 6 | 0,273 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,323 |
| | 0 1 | 6 | 0,240 |
| | 1 0 | 6 | 0,393 |
| | 1 1 | 6 | 0,210 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,350 |
| | 0 1 | 6 | 0,242 |
| | 1 0 | 6 | 0,367 |
| | 1 1 | 6 | 0,208 |

Tabela de médias para o Ferro extraível (mg.kg⁻¹).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 68,688 | 87,592 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 68,083 | 84,375 |
| | 1 | 12 | 69,292 | 90,808 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 67,033 | 86,533 |
| | 1 | 12 | 70,342 | 88,650 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 75,217 | 94,183 |
| | 1 | 12 | 62,158 | 81,000 |
| A B | 0 0 | 6 | 67,033 | 83,117 |
| | 0 1 | 6 | 69,133 | 85,633 |
| | 1 0 | 6 | 67,033 | 89,950 |
| | 1 1 | 6 | 71,550 | 91,667 |
| A C | 0 0 | 6 | 74,017 | 91,367 |
| | 0 1 | 6 | 62,150 | 77,383 |
| | 1 0 | 6 | 76,417 | 97,000 |
| | 1 1 | 6 | 62,167 | 84,617 |
| B C | 0 0 | 6 | 72,867 | 94,167 |
| | 0 1 | 6 | 61,200 | 78,900 |
| | 1 0 | 6 | 77,567 | 94,200 |
| | 1 1 | 6 | 63,117 | 83,100 |

Tabela de médias para o Manganês extraível (mg.kg⁻¹).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 8,425 | 9,863 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 8,325 | 9,617 |
| | 1 | 12 | 8,525 | 10,108 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 6,067 | 7,325 |
| | 1 | 12 | 10,783 | 12,400 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 6,933 | 7,833 |
| | 1 | 12 | 9,917 | 11,892 |
| A B | 0 0 | 6 | 6,167 | 7,267 |
| | 0 1 | 6 | 10,483 | 11,967 |
| | 1 0 | 6 | 5,967 | 7,383 |
| | 1 1 | 6 | 11,083 | 12,833 |
| A C | 0 0 | 6 | 6,867 | 7,683 |
| | 0 1 | 6 | 9,783 | 11,550 |
| | 1 0 | 6 | 7,000 | 7,983 |
| | 1 1 | 6 | 10,050 | 12,233 |
| B C | 0 0 | 6 | 5,067 | 6,017 |
| | 0 1 | 6 | 7,067 | 8,633 |
| | 1 0 | 6 | 8,800 | 9,650 |
| | 1 1 | 6 | 12,767 | 15,150 |

Tabela de médias para o Cobre extraível (mg.kg⁻¹).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 0,329 | 0,646 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,392 | 0,633 |
| | 1 | 12 | 0,267 | 0,658 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,341 | 0,608 |
| | 1 | 12 | 0,317 | 0,683 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,341 | 0,633 |
| | 1 | 12 | 0,317 | 0,658 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,400 | 0,583 |
| | 0 1 | 6 | 0,383 | 0,683 |
| | 1 0 | 6 | 0,283 | 0,633 |
| | 1 1 | 6 | 0,250 | 0,683 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,483 | 0,667 |
| | 0 1 | 6 | 0,300 | 0,600 |
| | 1 0 | 6 | 0,200 | 0,600 |
| | 1 1 | 6 | 0,333 | 0,717 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,383 | 0,600 |
| | 0 1 | 6 | 0,300 | 0,617 |
| | 1 0 | 6 | 0,300 | 0,667 |
| | 1 1 | 6 | 0,333 | 0,700 |

Tabela de médias para o Zinco extraível (mg.kg⁻¹).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 0,138 | 0,663 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,163 | 0,608 |
| | 1 | 12 | 0,113 | 0,717 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,158 | 0,667 |
| | 1 | 12 | 0,117 | 0,658 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,171 | 0,742 |
| | 1 | 12 | 0,104 | 0,583 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,200 | 0,583 |
| | 0 1 | 6 | 0,125 | 0,633 |
| | 1 0 | 6 | 0,117 | 0,750 |
| | 1 1 | 6 | 0,108 | 0,683 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,217 | 0,683 |
| | 0 1 | 6 | 0,108 | 0,533 |
| | 1 0 | 6 | 0,125 | 0,800 |
| | 1 1 | 6 | 0,100 | 0,633 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,217 | 0,733 |
| | 0 1 | 6 | 0,100 | 0,600 |
| | 1 0 | 6 | 0,125 | 0,750 |
| | 1 1 | 6 | 0,108 | 0,567 |

Anexo III

**Tabelas de médias dos valores dos parâmetros analisados nas plantas nas fases de
floração e maturação**

Tabela de médias para o Azoto total (% da matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 2,994 | 1,173 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 2,917 | 1,174 |
| | 1 | 12 | 3,071 | 1,171 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 3,025 | 1,128 |
| | 1 | 12 | 2,963 | 1,217 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 2,753 | 1,106 |
| | 1 | 12 | 3,235 | 1,239 |
| A B | 0 0 | 6 | 2,963 | 1,135 |
| | 0 1 | 6 | 2,870 | 1,213 |
| | 1 0 | 6 | 3,087 | 1,122 |
| | 1 1 | 6 | 3,055 | 1,220 |
| A C | 0 0 | 6 | 2,593 | 1,065 |
| | 0 1 | 6 | 3,240 | 1,283 |
| | 1 0 | 6 | 2,912 | 1,147 |
| | 1 1 | 6 | 3,230 | 1,195 |
| B C | 0 0 | 6 | 2,737 | 0,973 |
| | 0 1 | 6 | 3,313 | 1,283 |
| | 1 0 | 6 | 2,768 | 1,238 |
| | 1 1 | 6 | 3,157 | 1,195 |

Tabela de médias para o Fósforo (% da matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 0,483 | 0,160 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,501 | 0,167 |
| | 1 | 12 | 0,464 | 0,154 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,498 | 0,157 |
| | 1 | 12 | 0,467 | 0,164 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,586 | 0,188 |
| | 1 | 12 | 0,379 | 0,133 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,530 | 0,157 |
| | 0 1 | 6 | 0,472 | 0,177 |
| | 1 0 | 6 | 0,467 | 0,157 |
| | 1 1 | 6 | 0,462 | 0,152 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,618 | 0,197 |
| | 0 1 | 6 | 0,383 | 0,137 |
| | 1 0 | 6 | 0,553 | 0,178 |
| | 1 1 | 6 | 0,375 | 0,130 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,622 | 0,178 |
| | 0 1 | 6 | 0,375 | 0,135 |
| | 1 0 | 6 | 0,550 | 0,197 |
| | 1 1 | 6 | 0,383 | 0,132 |

Tabela de médias para o Potássio (% da matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 1,536 | 0,685 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 1,620 | 0,670 |
| | 1 | 12 | 1,452 | 0,699 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 1,574 | 0,688 |
| | 1 | 12 | 1,498 | 0,681 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 1,638 | 0,798 |
| | 1 | 12 | 1,434 | 0,571 |
| A B | 0 0 | 6 | 1,747 | 0,655 |
| | 0 1 | 6 | 1,493 | 0,685 |
| | 1 0 | 6 | 1,402 | 0,722 |
| | 1 1 | 6 | 1,502 | 0,677 |
| A C | 0 0 | 6 | 1,763 | 0,798 |
| | 0 1 | 6 | 1,477 | 0,542 |
| | 1 0 | 6 | 1,512 | 0,798 |
| | 1 1 | 6 | 1,392 | 0,600 |
| B C | 0 0 | 6 | 1,697 | 0,805 |
| | 0 1 | 6 | 1,452 | 0,572 |
| | 1 0 | 6 | 1,578 | 0,792 |
| | 1 1 | 6 | 1,417 | 0,570 |

Tabela de médias para o Cálcio (% da matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 1,345 | 1,719 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 1,365 | 1,776 |
| | 1 | 12 | 1,326 | 1,662 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 1,359 | 1,747 |
| | 1 | 12 | 1,332 | 1,691 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,678 | 0,990 |
| | 1 | 12 | 2,013 | 2,448 |
| A B | 0 0 | 6 | 1,390 | 1,798 |
| | 0 1 | 6 | 1,340 | 1,753 |
| | 1 0 | 6 | 1,328 | 1,695 |
| | 1 1 | 6 | 1,323 | 1,628 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,712 | 0,992 |
| | 0 1 | 6 | 2,018 | 2,560 |
| | 1 0 | 6 | 0,645 | 0,988 |
| | 1 1 | 6 | 2,007 | 2,335 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,711 | 0,965 |
| | 0 1 | 6 | 2,007 | 2,528 |
| | 1 0 | 6 | 0,645 | 1,015 |
| | 1 1 | 6 | 2,018 | 2,367 |

Tabela de médias para o Magnésio (% da matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 0,172 | 0,114 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,176 | 0,116 |
| | 1 | 12 | 0,168 | 0,112 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,175 | 0,113 |
| | 1 | 12 | 0,168 | 0,115 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,183 | 0,128 |
| | 1 | 12 | 0,161 | 0,100 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,183 | 0,115 |
| | 0 1 | 6 | 0,168 | 0,117 |
| | 1 0 | 6 | 0,167 | 0,110 |
| | 1 1 | 6 | 0,168 | 0,113 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,187 | 0,132 |
| | 0 1 | 6 | 0,165 | 0,100 |
| | 1 0 | 6 | 0,178 | 0,123 |
| | 1 1 | 6 | 0,157 | 0,100 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,185 | 0,125 |
| | 0 1 | 6 | 0,165 | 0,100 |
| | 1 0 | 6 | 0,180 | 0,130 |
| | 1 1 | 6 | 0,157 | 0,100 |

Tabela de médias para o Sódio (% da matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 0,020 | 0,022 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,022 | 0,022 |
| | 1 | 12 | 0,018 | 0,022 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,023 | 0,021 |
| | 1 | 12 | 0,017 | 0,023 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,021 | 0,024 |
| | 1 | 12 | 0,018 | 0,019 |
| A B | 0 0 | 6 | 0,025 | 0,022 |
| | 0 1 | 6 | 0,018 | 0,022 |
| | 1 0 | 6 | 0,020 | 0,020 |
| | 1 1 | 6 | 0,015 | 0,023 |
| A C | 0 0 | 6 | 0,023 | 0,025 |
| | 0 1 | 6 | 0,020 | 0,018 |
| | 1 0 | 6 | 0,018 | 0,023 |
| | 1 1 | 6 | 0,017 | 0,020 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,025 | 0,023 |
| | 0 1 | 6 | 0,020 | 0,018 |
| | 1 0 | 6 | 0,017 | 0,025 |
| | 1 1 | 6 | 0,017 | 0,020 |

Tabela de médias para o Ferro (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 57,944 | 220,976 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 63,396 | 236,513 |
| | 1 | 12 | 52,492 | 205,440 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 57,108 | 224,146 |
| | 1 | 12 | 58,779 | 217,806 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 52,183 | 191,027 |
| | 1 | 12 | 63,704 | 250,925 |
| A B | 0 0 | 6 | 63,917 | 267,900 |
| | 0 1 | 6 | 62,875 | 205,125 |
| | 1 0 | 6 | 50,300 | 180,392 |
| | 1 1 | 6 | 54,683 | 230,488 |
| A C | 0 0 | 6 | 54,817 | 208,425 |
| | 0 1 | 6 | 71,975 | 264,600 |
| | 1 0 | 6 | 49,550 | 173,629 |
| | 1 1 | 6 | 55,433 | 237,250 |
| B C | 0 0 | 6 | 52,867 | 207,758 |
| | 0 1 | 6 | 61,350 | 240,533 |
| | 1 0 | 6 | 51,500 | 174,296 |
| | 1 1 | 6 | 66,058 | 261,317 |

Tabela de médias para o Manganês (mg.kg^{-1} de matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 42,375 | 37,535 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 43,617 | 38,708 |
| | 1 | 12 | 41,133 | 36,363 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 33,508 | 30,650 |
| | 1 | 12 | 51,242 | 44,421 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 71,275 | 59,467 |
| | 1 | 12 | 13,475 | 15,604 |
| A B | 0 0 | 6 | 34,983 | 32,408 |
| | 0 1 | 6 | 52,250 | 45,008 |
| | 1 0 | 6 | 32,033 | 28,892 |
| | 1 1 | 6 | 50,233 | 43,833 |
| A C | 0 0 | 6 | 73,317 | 60,717 |
| | 0 1 | 6 | 13,917 | 16,700 |
| | 1 0 | 6 | 69,233 | 58,217 |
| | 1 1 | 6 | 13,033 | 14,508 |
| B C | 0 0 | 6 | 54,650 | 46,800 |
| | 0 1 | 6 | 12,367 | 14,500 |
| | 1 0 | 6 | 87,900 | 72,133 |
| | 1 1 | 6 | 14,583 | 16,708 |

Tabela de médias para o Cobre (mg.kg⁻¹ de matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 0,754 | 2,333 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 0,917 | 2,292 |
| | 1 | 12 | 0,592 | 2,375 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 0,850 | 2,458 |
| | 1 | 12 | 0,658 | 2,208 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 0,725 | 2,500 |
| | 1 | 12 | 0,783 | 2,167 |
| A B | 0 0 | 6 | 1,000 | 2,750 |
| | 0 1 | 6 | 0,833 | 1,833 |
| | 1 0 | 6 | 0,700 | 2,167 |
| | 1 1 | 6 | 0,483 | 2,583 |
| A C | 0 0 | 6 | 1,000 | 2,417 |
| | 0 1 | 6 | 0,833 | 2,167 |
| | 1 0 | 6 | 0,450 | 2,583 |
| | 1 1 | 6 | 0,733 | 2,167 |
| B C | 0 0 | 6 | 0,883 | 2,417 |
| | 0 1 | 6 | 0,817 | 2,500 |
| | 1 0 | 6 | 0,567 | 2,583 |
| | 1 1 | 6 | 0,750 | 1,833 |

Tabela de médias para o Zinco (mg.kg^{-1} de matéria seca).

| Combinação de níveis | | Nº de dados | floração | maturação |
|----------------------|-----|-------------|----------|-----------|
| Grande média | | 24 | 2,558 | 8,169 |
| A: Ferro | 0 | 12 | 2,779 | 8,571 |
| | 1 | 12 | 2,338 | 7,767 |
| B: Manganês | 0 | 12 | 2,846 | 7,804 |
| | 1 | 12 | 2,271 | 8,533 |
| C: Calagem | 0 | 12 | 3,271 | 9,829 |
| | 1 | 12 | 1,846 | 6,508 |
| A B | 0 0 | 6 | 3,267 | 8,658 |
| | 0 1 | 6 | 2,292 | 8,483 |
| | 1 0 | 6 | 2,425 | 6,950 |
| | 1 1 | 6 | 2,250 | 8,583 |
| A C | 0 0 | 6 | 3,658 | 10,108 |
| | 0 1 | 6 | 1,900 | 7,033 |
| | 1 0 | 6 | 2,883 | 9,550 |
| | 1 1 | 6 | 1,792 | 5,983 |
| B C | 0 0 | 6 | 3,592 | 9,625 |
| | 0 1 | 6 | 2,100 | 5,983 |
| | 1 0 | 6 | 2,950 | 10,033 |
| | 1 1 | 6 | 1,592 | 7,033 |

Anexo IV

Alguns registos acerca do sistema radicular e do peso de sementes

Observação das raízes à floração:

Uma observação sumária das raízes na fase de floração, permitiu retirar as seguintes conclusões (figura-2):

- O sistema radicular das modalidades com calagem apresentou-se mais denso e comprido.
- Das modalidades sem calagem, destacam-se pelo menor desenvolvimento as modalidades testemunha e testemunha com manganês.
- O ferro pareceu contribuir bastante para o bom desenvolvimento dos sistemas radiculares: é possível que muito do ferro fornecido tenha ficado retido no sistema radicular.
- Em termos de número e dimensão dos nódulos, não foi possível detectar grandes diferenças. Apenas se notou que os nódulos das modalidades com ferro eram os que apresentavam um tom vermelho mais vivo, enquanto os das modalidades com manganês eram os que apresentavam um tom vermelho mais baço.

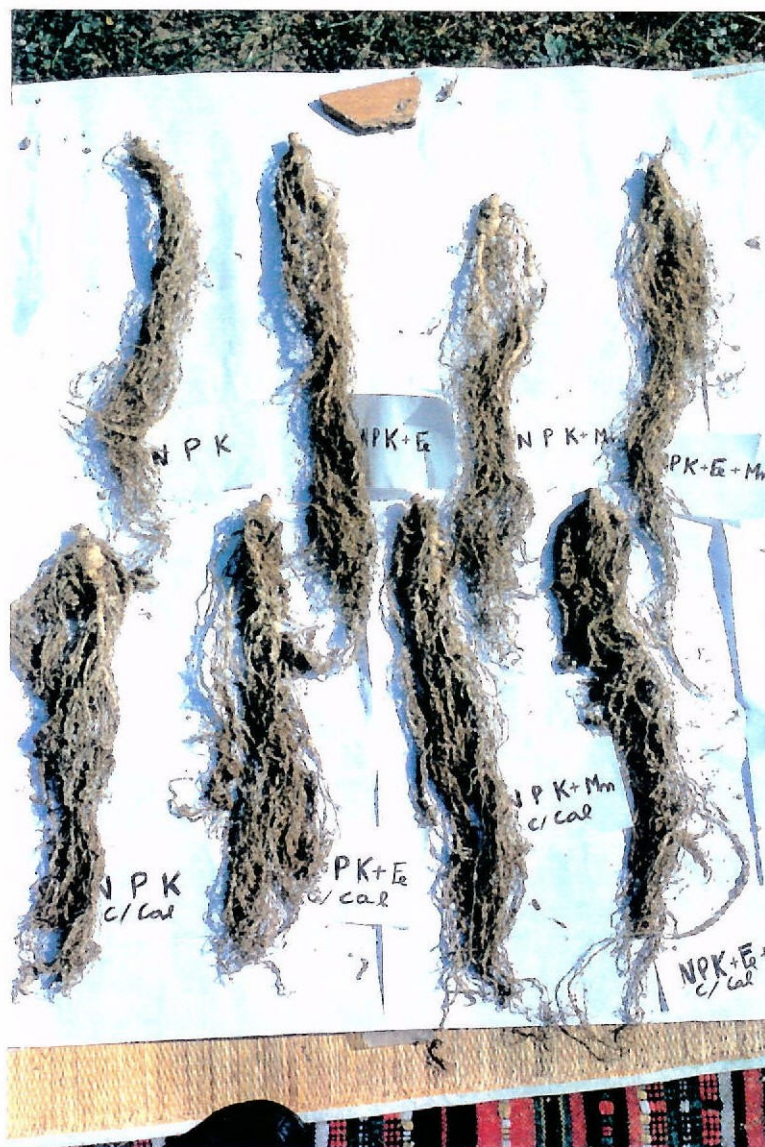


Figura-2 : raízes na fase de floração. Da esquerda para a direita e em cima: testemunha; com ferro; com manganês; com ferro e manganês. Em baixo, pela mesma ordem, mas com calagem.

Peso seco de uma raiz por modalidade na maturação (g).

| Modalidade | Peso |
|--|-------------|
| testemunha | 34,3 |
| com ferro | 52,8 |
| com manganês | 40,2 |
| com ferro e manganês | 38,1 |
| testemunha com calagem | 70,1 |
| testemunha com calagem e ferro | 85,0 |
| testemunha com calagem e manganês | 66,0 |
| testemunha com calagem, ferro e manganês | 101,2 |

Produção de sementes de 48 plantas de tremocilha: 412,5g