

# CARÊNCIA DE MAGNÉSIO EM CASTANHEIRO: INFLUÊNCIA DO MANGANÊS DO SOLO

## MAGNESIUM DEFICIENCY IN CHESTNUT: THE INFLUENCE OF SOIL MANGANESE

Ester Portela<sup>1</sup>, Carlos Coelho-Pires<sup>2</sup> e José Louzada<sup>3</sup>

---

### RESUMO

Efectuou-se um levantamento, a nível regional, que incidiu em soutos instalados em diversas formações geológicas, incluindo rochas ricas em manganês (Mn). Seleccionaram-se 38 soutos, 19 soutos com carência de magnésio (Mg) e outros tantos adjacentes com boas condições de produção. Determinaram-se as concentrações de nutrientes nas folhas e diversos indicadores da fertilidade dos solos.

A concentração de Mg mais baixa observada em árvores que se desenvolviam em soutos em boas condições de produção foi  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$  e o valor mais elevado em árvores com sintomas de carência de Mg foi  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ . Na maioria dos soutos cloróticos, foi registado o valor do Mg permutável inferior a  $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  de solo. Todavia, nos soutos cujos solos apresentavam teores de Mn  $> 25 \text{ mg kg}^{-1}$ , os castanheiros exibiam sintomas de carência magnésiana para valores do Mg permutável superiores àquele valor e até  $0,33 \text{ cmolc kg}^{-1}$ . Os soutos com os teores mais elevados de Mn no solo (Mn  $> 200$

$\text{mg kg}^{-1}$ ) estão instalados em xistos e grauvaques do Ordovício e do Silúrico.

**Palavras chave:** *Castanea sativa*, castanheiro, manganês, magnésio

### ABSTRACT

A regional survey was carried out in chestnut groves established in soils derived from bedrock of several geological formations, some with materials rich in manganese (Mn). A total of 38 chestnut groves were selected: 19 groves with several trees showing symptoms of Mg deficiency and 19 groves in their vicinity with vigorous tree growth. Foliar nutrient concentrations and several soil fertility indicators were determined.

The lowest value of leaf Mg concentration in good growing conditions was  $1.8 \text{ g kg}^{-1}$  and the highest value in trees with evident symptoms of Mg deficiency was  $1.5 \text{ g kg}^{-1}$ . In the majority of chlorotic groves, soil exchangeable Mg was below  $0.20 \text{ cmolc kg}^{-1}$ . But the soils with Mn higher than  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  exhibit symptoms of Mg deficiency up

---

<sup>1</sup> Dep. de Biologia e Ambiente, eportela@utad.pt; 2. Dep. de Geologia, coelho\_pires@sapo.pt; 3. Dep. Florestal, jlousada@utad.pt. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro-CITAB, Ap 1013, 5000-911 Vila Real.

to 0.33 cmolc kg<sup>-1</sup> of exchangeable Mg. In soils with the highest contents of Mn (>200 mg kg<sup>-1</sup>) the chestnut groves were established on Mn-rich schists and greywackes of the Ordovician and the Silurian.

**Key-words:** *Castanea sativa*, chestnut, manganese, magnesium

## INTRODUÇÃO

As carências de magnésio (Mg) no castanheiro (*Castanea sativa* Mill.) foram descritas e avaliadas por Portela *et al.* (1999; 2003). Esta carência foi identificada em Trás-os-Montes nas regiões naturais da Padrela e de Bragança, em solos provenientes de rochas de diversas formações geológicas. A ocorrência desta carência tem-se verificado, sobretudo, em soutos instalados em solos ácidos derivados de quartzitos xistentos, de xistos e de grauvaques do Ordovício e do Silúrico e em solos derivados de granitos predominantemente alcalinos de duas micas. Os quartzitos, os xistos e os grauvaques estão associados às seguintes formações geológicas: Filito-quartzítica (OFQ), Pelito grauvaquica (SPX), Quartzítica (SPQ) e, ainda, ao complexo Vulcano-silicioso (SVS). Apenas os solos provenientes de tufitos básicos das formações SVS e OFQ e de rochas dos complexos básicos e ultrabásicos se encontram bem providos de Mg (Martins e Coutinho, 1991; Portela *et al.*, 2007).

A ocorrência de carências de Mg em castanheiros e as respectivas concentrações foliares são influenciadas, não só pelos teores do Mg<sup>2+</sup> permutável, mas também por outras características químicas do solo. Entre estas características, encontram-se os teores de K<sup>+</sup> de troca, o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e a acidez de troca (Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup>). Portela *et al.* (2003) constataram que as concentrações foliares de Mg eram mais bem explicadas pelo efeito conjugado de diversos indicadores do solo,

nomeadamente pelas razões Mg<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e Mg<sup>2+</sup>/(Al<sup>3+</sup>+H<sup>+</sup>), do que pelo Mg<sup>2+</sup> permutável por si só. Tem sido difícil identificar o limiar crítico do Mg<sup>2+</sup> de troca abaixo do qual essa carência se verifica, observando-se algumas discrepâncias associadas a certas zonas onde se desenvolve o castanheiro. Com efeito, constatou-se que os casos mais desviantes se localizavam em soutos instalados em certas formações geológicas, cujos solos apresentavam teores elevados de manganês (Mn). Assim, este estudo teve como objectivo verificar se o Mn extraível do solo teria uma influência marcante na definição do limiar crítico do Mg<sup>2+</sup> permutável, abaixo do qual ocorriam as deficiências de Mg no castanheiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

Agregou-se a informação obtida entre 1996 e 2006, referente a 38 soutos de Trás-os-Montes (19 soutos onde se observavam árvores com sintomatologia da carência de Mg e 19 soutos, nas proximidades, em condições de bom crescimento).

No período de 21 de Agosto a 7 de Setembro, foram recolhidas amostras foliares em cinco árvores nos soutos em boas condições de crescimento, e em 10 árvores nos soutos cloróticos (cinco árvores que apresentavam sintomas da carência de Mg e cinco árvores sem sintomas evidentes). Retiraram-se folhas (25-30) da parte superior do terço médio da copa, nos quatro quadrantes da árvore: da quarta à oitava folha, a partir da extremidade de ramos com ouriços. A preparação das amostras de folhas e os métodos laboratoriais utilizados na determinação das concentrações de macro e de micronutrientes encontram-se descritas em Portela *et al.* (2003).

**Quadro 1** - Variação das propriedades do solo nos 38 souts objecto de estudo.

Propriedades do solo (0-20 cm)	Média	Mínimo	Máximo
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	29,1	7,8	68,0
pH (H <sub>2</sub> O)	5,0	4,0	5,9
pH (KCl)	4,0	2,8	5,0
P extraível (mg kg <sup>-1</sup> )	59	9	221
Catiões de troca (cmolc kg <sup>-1</sup> )			
Ca	1,04	0,11	4,42
Mg	0,28	0,02	1,45
K	0,29	0,05	0,67
Na	0,04	0,01	0,12
Al+H	1,09	0,22	1,89
Saturação de bases (%)	54	12	95
Mn extraível (mg kg <sup>-1</sup> )	69	3,5	472

A colheita das amostras de solos foi feita debaixo da copa de três árvores de cada soute à profundidade de 0-20 cm e de 20-40 cm, tendo-se obtido uma amostra compósita, resultante da mistura de 12 subamostras em cada profundidade (quatro quadrantes da copa x três árvores). Nos souts cloróticos, seguiu-se o mesmo critério utilizado na colheita das folhas, isto é, obtiveram-se duas amostras compósitas: sob a copa de árvores sem sintomas evidentes e sob a copa de árvores com sintomatologia foliar da carência de Mg. A preparação das amostras de solo e os métodos laboratoriais utilizados na análise dos indicadores da fertilidade do solo estão descritos em Portela *et al.* (2003). Na determinação do Mn extraível seguiu-se o método de Lakanen e Erviö (1971), sendo o extractante o acetato de amónio-ácido acético e EDTA, que é utilizado como um dos métodos de referência para estimar o Mn biodisponível (Sillanpää, 1990).

A amostragem dos souts ocorreu em duas regiões naturais, Padrela e Bragança (Agroconsultores e Coba, 1991), em solos provenientes de diversos materiais: dum granito de grão médio de duas micas e de xistos de diversas formações geológicas: Filito-quartzítica (OFQ), Pelito-grauváquica (SPX), Xistos Inferiores (SPI), Quartzitos

Superiores (SPQ), complexo Vulcano-silicioso (SVS) e formações de Macedo Cavaleiros (DMC) e de Gimonde (DGI) (Pereira, 1992, 2000; Ribeiro, 1998). Apesar da frequência com que ocorre a carência de Mg, em diversas culturas, nos solos derivados de granitos (Portela e Lousada, 2007), a maior uniformidade existente entre os granitos levou-nos a estudar apenas um soute assente num granito de Serapicos (Ribeiro, 1998), tendo-se privilegiado a amostragem de souts instalados sobre xistos e grauvaques, devido à heterogeneidade mineral verificada neste grupo. Assim, dentre as rochas identificadas mais amiúde destacam-se: quartzofilitos, filitos, micaxistos, xistos grafíticos (cinzentos ou negros), ampelitos, liditos, siltitos, grauvaques, metagruvaques, xistos hematíticos, xistos cloritoseriécíticos e, ainda, xistos quartzíticos.

No Quadro 1 apresenta-se o intervalo de variação das propriedades dos solos dos souts que foram objecto de estudo. Apenas são apresentados dados da camada 0-20 cm, já que o padrão de variação da camada 20-40 cm foi o mesmo.

Foi efectuada uma regressão múltipla entre o teor foliar de Mg no castanheiro e indicadores da fertilidade do solo e foram, ainda, determinados coeficientes de correla-

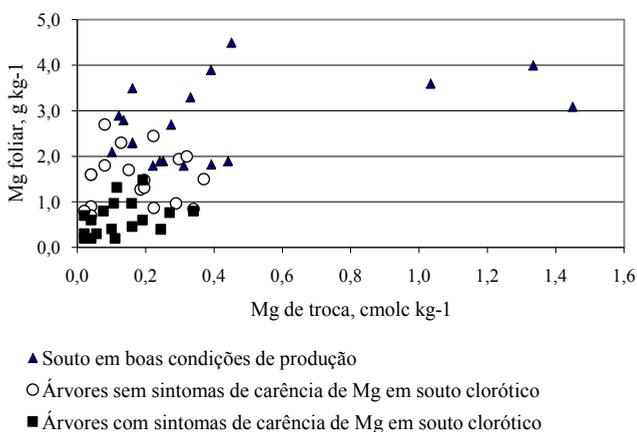
ção de Pearson entre características do solo e a concentração de nutrientes nas folhas do castanheiro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

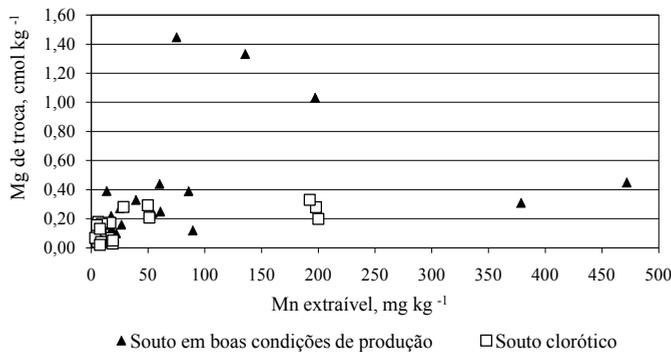
Na Figura 1, encontram-se representadas as concentrações foliares médias de Mg (na matéria seca) de 19 souts que se encontravam em boas condições de produção e de 19 souts cloróticos (árvores com sintomas foliares evidentes da carência de Mg e árvores que não manifestavam sintomas) *versus* os teores médios do  $Mg^{2+}$  de troca dos souts correspondentes. Pode observar-se que o valor mais baixo da concentração foliar de Mg nos souts em boas condições de produção foi  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$  e o mais alto observado em árvores com sintomas da carência de Mg foi  $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ , sugerindo que o intervalo crítico para o aparecimento da carência de Mg no castanheiro se situa entre  $1,5\text{-}1,8 \text{ g kg}^{-1}$ .

Nos souts em boas condições de produção, o  $Mg^{2+}$  permutável situou-se quase sempre acima de  $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  de solo. Em

certos casos, apesar de esse indicador ter sido inferior, os castanheiros apresentavam-se vigorosos. Na grande maioria dos souts cloróticos, registaram-se teores do  $Mg^{2+}$  de troca inferiores a  $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  de solo, mas houve um grupo de seis souts cloróticos em que o  $Mg^{2+}$  de troca foi  $\geq 0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  de solo, constituindo assim a exceção à regra. Constatou-se que estes seis souts se localizavam em determinadas manchas de solo onde era comum os solos apresentarem teores mais elevados de Mn extraível. Assim, elaborou-se a Figura 2, com base nos valores médios do  $Mg^{2+}$  de troca e do Mn extraível nos 38 souts, os quais foram agrupados em apenas dois grupos, de acordo com a ocorrência ou não de sintomas da deficiência de Mg, já que não se observaram diferenças significativas no  $Mg^{2+}$  permutável nas amostras de solo recolhidas por baixo do copado das árvores (com ou sem sintomatologia da carência magnésiana). Efectivamente, pode observar-se que nos seis souts cloróticos com  $Mg^{2+}$  de troca  $\geq 0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$ , registou-se um Mn extraível superior a  $25 \text{ mg kg}^{-1}$ . Nos souts cloróticos assinalou-se como o



**Figura 1** - Relação entre o  $Mg^{2+}$  de troca do solo e a concentração de Mg em folhas de castanheiro em dois grupos de souts: souts em boas condições de produção e souts cloróticos.



**Figura 2** - Relação entre os teores de  $Mg^{2+}$  permutável e de Mn extraível dos solos em soutos com carência magnésiana (souto clorótico) e em soutos em boas condições de produção.

valor mais elevado do  $Mg^{2+}$  de troca o de  $0,33 \text{ cmolc kg}^{-1}$ , ao qual correspondeu um Mn extraível elevado ( $220 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e uma concentração de Mn nas folhas do castanheiro ( $2880 \text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca) simultaneamente elevada.

Os soutos com os teores mais elevados do Mn extraível ( $> 200 \text{ mg kg}^{-1}$ ) estão assentes no complexo Vulcano-silicioso ou na formação Filito-quartzítica ou, ainda, nas suas áreas de contacto, tendo-se encontrado, à superfície dos solos, tanto intrusões de rocha básica (nos soutos com teores mais altos de  $Mg^{2+}$  permutável), como intrusões de tufitos ácidos (nos soutos cloróticos). Nestes casos, identificou-se a piroluzite ( $MnO_2$ ) precipitada na forma cristalina nos elementos rochosos da fracção grosseira dos solos, constituindo pois uma reserva de Mn biodisponível. Em contrapartida, é de assinalar que os mais baixos teores de Mn extraível ( $3,5\text{-}17,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foram registados em solos derivados de granito e de xistos quartzíticos (formações SPQ e SPI).

Constatou-se haver uma correlação positiva e altamente significativa entre os teores de Mn extraível no solo e os teores foliares de Mn no castanheiro ( $r=0,630^{***}$ ). Muitas vezes, quando se registaram concentrações

foliares de Mn muito elevadas, estas foram acompanhadas de maiores teores foliares de Mg. Apesar de, no estudo presente, não se ter verificado correlação significativa entre as concentrações foliares destes dois nutrientes, quando a análise se restringiu a apenas um souto, constatou-se existir tal correlação. Com efeito, num estudo efectuado por Portela *et al.* (1999), num souto localizado em Macedo Cavaleiros, observou-se que as concentrações de Mg e de Mn foliares estavam positivamente correlacionadas ( $r=0,71^{**}$ ,  $n=15$ , dados não publicados).

Com o objectivo de testar se o teor de Mn no solo poderia, eventualmente, estar associado à absorção do Mg, realizou-se uma regressão múltipla entre diversas características do solo dos 38 soutos (referidos no Quadro 1) e a concentração foliar de Mg. No Quadro 2, encontra-se um resumo dos resultados obtidos na regressão múltipla. Esta análise mostra que 52% da variação da concentração foliar de Mg pode ser explicada pelo teor de  $Mg^{2+}$  de troca, pela razão  $Mg^{2+}/K^+$ , pelo teor de matéria orgânica e por índices relativos à acidez do solo (pH KCl e a saturação em bases), não se podendo atribuir ao teor de Mn extraível peso

**Quadro 2 -** Regressão múltipla entre a concentração foliar de Mg e indicadores da fertilidade do solo.

Ekapa	Inprt	MO	P	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Ca	Mg	K	H+Al	V	Mn	Mg/ (H+Al)	Mg/K	Mg/ /CTC	R <sup>2</sup>
1	0,346	-0,027 (13,3)	-0,00 (0,24)	0,016 (1,6)	-0,094 (10,0)	0,029 (8,0)	0,189 (16,5)	-0,014 (0,8)	0,069 (9,9)	0,002 (18,2)	0,00 (1,9)	-0,040 (6,0)	-0,068 (12,4)	0,079 (1,3)	0,556
2	0,345	-0,027 (13,4)	E	0,015 (1,4)	-0,092 (9,8)	0,029 (8,2)	0,188 (16,5)	-0,013 (0,74)	0,069 (10,0)	0,002 (18,2)	0,00 (2,0)	-0,040 (6,0)	-0,068 (12,5)	0,085 (1,4)	0,556
3	0,344	-0,027 (13,4)	E	0,016 (1,6)	-0,094 (10,0)	0,025 (7,2)	0,199 (17,6)	-0,013 (0,7)	0,069 (10,1)	0,002 (19,2)	0,00 (2,1)	-0,039 (5,9)	-0,066 (12,2)	E	0,556
4	0,347	-0,027 (13,8)	E	0,016 (1,6)	-0,094 (10,3)	0,026 (7,7)	0,192 (17,4)	E	0,067 (10,0)	0,002 (18,9)	0,00 (2,2)	-0,040 (6,2)	-0,063 (12,0)	E	0,556
5	0,371	-0,027 (14,2)	E	E	-0,081 (9,2)	0,026 (7,8)	0,190 (17,7)	E	0,067 (10,4)	0,002 (20,1)	0,00 (2,3)	-0,038 (5,9)	-0,063 (12,3)	E	0,555
6	0,376	-0,026 (15,4)	E	E	-0,088 (11,0)	0,025 (8,2)	0,129 (13,2)	E	0,079 (13,4)	0,003 (23,4)	0,00 (2,6)	E	-0,060 (12,9)	E	0,554
7	0,406	-0,027 (16,1)	E	E	-0,093 (11,9)	0,021 (7,0)	0,137 (14,3)	E	0,075 (13,0)	0,003 (24,7)	E	E	-0,059 (13,0)	E	0,551
8	0,321	-0,027 (16,3)	E	E	-0,078 (9,8)	E	0,171 (17,8)	E	0,083 (14,3)	0,003 (29,0)	E	E	-0,059 (12,8)	E	0,547
9	0,554	-0,029 (21,6)	E	E	-0,091 (14,3)	E	0,208 (27,0)	E	E	0,002 (19,2)	E	E	-0,065 (17,8)	E	0,517

Nota: Os valores indicam os coeficientes de regressão e entre parêntesis encontram-se os valores de Beta. E - indica que a propriedade do solo não é significativa (P<0,05) e foi eliminada (n=38).

relevante na variação do teor de Mg foliar. Num estudo anterior, realizado por Portela *et al.* (2003), pode confirmar-se a importância de alguns dos indicadores aqui referidos. A razão  $Mg^{2+}/K^+$  surge, mais uma vez, como determinante na absorção do  $Mg^{2+}$ , à semelhança de outros trabalhos referidos na literatura (Kopinga e Burg, 1995; Mengel e Kirkby, 2001).

Apesar do teor de Mn extraível não se ter mostrado relevante na variação do teor de Mg foliar, os índices relativos à acidez do solo (saturação em bases e pH KCl) estarão certamente associados a variações acentuadas do Mn biodisponível que, eventualmente, poderão induzir a carência de Mg, quando a acidez é elevada. Efectivamente, o aumento do teor de Mn extraível do solo está associado à manifestação da carência de Mg no castanheiro para valores de  $Mg^{2+}$  de troca superiores a  $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$ . No estudo vertente, os sintomas de carência de Mg nos soutos só não se observaram quando o  $Mg^{2+}$  de troca foi  $\geq 34 \text{ cmolc kg}^{-1}$ . Estes dados sugerem que o Mn, a partir dum certo nível, poderá ter um efeito inibidor da absorção do  $Mg^{2+}$ . Esse efeito inibidor do Mn tem sido referido por Bergmann (1992), Marschner (1995) e Mengel e Kirkby (2001), e demonstrado por diversos investigadores em solução nutritiva. Por exemplo, ensaios efectuados por Goss e Carvalho (1992) mostraram que, para se atingir a produção máxima de matéria seca do trigo, quanto mais Mn estivesse presente em solução, maior era a necessidade de Mg. De igual modo, os ensaios realizados por Heenan e Campbell (1981) revelaram que o aumento do fornecimento de Mn em solução nutritiva reduziu a concentração foliar de Mg em plântulas de soja.

É de salientar que o carácter ácido e muito ácido dos solos estudados (Quadro 1) propiciam a solubilização do  $MnO_2$ . Com efeito, as formas de Mn potencialmente disponí-

veis para as plantas são em grande parte determinadas pelo pH do solo (Khanna e Mishra, 1978; Lindsay, 1979). No caso dos solos portugueses, o estudo de Costa e Fernandes (1996) mostrou que as quantidades de Mn extraídas pelo método de Lakanen se encontravam correlacionadas com o pH ( $H_2O$ , 1:2,5) do solo.

## CONCLUSÕES

Em resumo, poderá concluir-se que na maioria dos terrenos onde estão instalados os soutos em Trás-os-Montes ressaltam as condições ácidas ou fortemente ácidas dos solos, quase sempre associadas a material originário pobre em bases, nomeadamente em Mg, como são os granitos alcalinos de duas micas, os quartzitos xistentos, os xistos e grauvaques do Silúrico e do Ordovício e, ainda, os metagrauvaques do Devónico. Apurou-se haver um intervalo crítico para a emergência da carência de Mg no castanheiro, que se situa entre os  $1,5-1,8 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria seca. Deste estudo, salienta-se a relevância que as condições ácidas do meio e os baixos valores, quer de  $Mg^{2+}$  permutável, quer da razão  $Mg^{2+}/K^+$  têm na ocorrência da carência de Mg. A reserva elevada de K de muitos xistos desta região (Portela, 1993) e a prática frequente da adubação potássica dos castanheiros poderá potenciar a carência magnésiana. A presença da piro-luzite nos solos de certas formações geológicas, aliada à forte acidez, propicia uma disponibilidade elevada de Mn. Considerando que este poderá ter um efeito inibidor na absorção de  $Mg^{2+}$ , sempre que haja teor elevado de Mn extraível, haverá necessidade de correcção dos solos, para valores do  $Mg^{2+}$  de troca abaixo de  $0,34 \text{ cmolc kg}^{-1}$ . Porém, em solos com teores baixos de Mn extraível, bastará que o  $Mg^{2+}$  permutável se encontre acima de  $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$  de solo.

## AGRADECIMENTOS

A colheita e preparação das amostras de solo foram efectuadas por José Rego. As análises laboratoriais foram realizadas pelo Laboratório de Solos e Plantas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Este estudo foi suportado com verbas do CITAB.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroconsultores e Coba (1991) - Carta de Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal, Escala 1: 100 000. Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Bergmann, W. (1992) - *Nutritional disorders of plants*. Stuttgart, Gustave Fisher, 386 p.
- Costa, A.S.V. e Fernandes, R.M.C. (1996) - Extracção de micronutrientes catiões do solo através de métodos de avaliação da sua biodisponibilidade. Estudo comparativo de 4 métodos. *In: Actas da 6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*. Aveiro, Portugal, Universidade de Aveiro, p. 773-775.
- Goss, M.J. e Carvalho, M.J.G.P.R. (1992) - Manganese toxicity: The significance of magnesium for the sensitivity of wheat plants. *Plant and Soil*, 139: 91-98.
- Heenan, D.P. e Campbell, L.C. (1981) - Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv Bragg). *Plant and Soil*, 61: 447-456.
- Khanna, P.K. e Mishra, B. (1978) - Behaviour of manganese in some acid soils in Western Germany in relation to pH and air-drying. *Geoderma*, 20: 289-297.
- Kopinga, J. e Burg, J.van den. (1995) - Using soil and foliar analysis to diagnose the nutritional status of urban trees. *Journal of Arboriculture*, 21: 17-23.
- Lakanen, E. e Erviö, R. (1971) - A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agralia Fennica*, 123: 223-232.
- Lindsay, W.L. (1979) - *Chemical equilibria in soils*. New York, John Wiley e Sons, 449 p.
- Marschner, H. (1995) - *Mineral nutrition of higher plants*. 2ª Ed. London, Academic Press, 889 p.
- Martins, A. e Coutinho, J. (1991) - General properties of soils under chestnut stands in Trás-os-Montes region, Portugal. *In: Teller, A.; Mathy, P. e Jeffers, J.N.R. (Eds) - Responses of forest ecosystems to environmental changes*. London, Elsevier Applied Science, p. 773-775.
- Mengel, K. e Kirkby, E.A. (2001) - *Principles of plant nutrition*. 5ª Ed. London, Kluwer Academic Publishers, 849 p.
- Pereira, E. (Coord.). (1992) - *Carta Geológica de Portugal 1:200 000 e Notícia explicativa da folha 1*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.
- Pereira, E. (Coord.). (2000) - *Notícia explicativa da folha 7D da Carta Geológica de Portugal 1:50 000*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.
- Portela, E. e Lousada, J. (2007) - Deficiências de magnésio em solos e culturas do Norte de Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, 30: 67-86.
- Portela, E.; Ferreira-Cardoso, J.; Roboredo, M. e Pimentel-Pereira, M. (1999) - Influence of magnesium deficiency on chestnut (*Castanea sativa* Mill.) yield and quality. *In: D. Anaç e P. Martin-Prével (Eds.) - Improved crop quality by nutrient management*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 153-158.
- Portela, E.; Martins, A.; Pires, A.L.; Raimundo, F. e Marques, G. (2007) - Práticas culturais no soto: o manejo do solo. *In: Gomes-Laranjo, J.; Ferreira-Cardoso, J.;*

- Portela, E. e Abreu, C.G. (Eds) – *Castanheiros*. Vila Real, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Programa Agro 499, p. 207-264.
- Portela, E.A.C. (1993) - Potassium supplying capacity of northeastern Portuguese soils. *Plant and Soil*, 154: 13-20.
- Portela, E.; Roboredo, M. e Lousada, J. (2003) - Assessment and description of magnesium deficiencies in chestnut groves. *Journal of Plant Nutrition*, 26: 503-523.
- Ribeiro, M.A.M. (1998) - Estudo Litogeoquímico das Formações Metassedimentares Encaixantes de Mineralizações em Trás-os-Montes Ocidental. Implicações Metalogénicas. Dissertação de doutoramento. Porto, Universidade do Porto, 231p.
- Sillanpää, O. (1990) - *Micronutrient assessment at country level: an international study*. Rome, FAO, 178 p. (Soils Bulletin No. 63).