



A IMPORTÂNCIA DO BORO EM OLIVAL É DO NÍVEL DE UM MACRONUTRIENTE



M. Ângelo Rodrigues,
Margarida Arrobas

Centro de Investigação de Montanha (CIMO),
Instituto Politécnico de Bragança

INTRODUÇÃO

O boro é um elemento essencial às plantas. A essencialidade do boro está demonstrada desde a primeira metade do século XX. Pensa-se que terá tido um papel importante na evolução das plantas vasculares, devido às suas funções ligadas às paredes das células. Contudo, o boro está incluído no grupo dos micronutrientes, por ser necessário às plantas em quantidades relativamente reduzidas. O boro encontra-se no solo numa elevada diversidade de minerais primários, associado à fração orgânica, adsorvido a partículas minerais e orgânicas e na solução do solo. Contudo, a deficiência de boro encontra-se mais dispersa no mundo do que a de qualquer outro micronutriente. Apesar de estar classificado como micronutriente, a frequência com que a sua aplicação tem de ser considerada na fertilização das culturas confere-lhe um estatuto equivalente ao dos macronutrientes principais, sobretudo na fruticultura de sequeiro do interior de Portugal como será explicado neste documento.

BORO NO SOLO

Na generalidade dos solos, uma grande parte do boro está associada à fração orgânica. A matéria orgânica pode conter boro devido à formação de complexos entre o ácido bórico e os ácidos carboxílicos dos colóides húmicos. A matéria orgânica liberta este boro para as plantas após mineralização (Havlin *et al.*, 2014). O boro no solo encontra-se também numa elevada diversidade de minerais primários, em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. A turmalina representa um grupo de borossilicatos complexos particularmente ricos em boro. Estes borossilicatos são, contudo, muito resistentes à meteorização e virtualmente insolúveis, pelo que o seu contributo para o fornecimento de boro às plantas é reduzido (Gupta, 2007).

O boro pode também encontrar-se no solo adsorvido nas superfícies das partículas minerais e orgânicas. A capacidade de adsorver boro pelos minerais de argila segue a ordem micas > montmorilonite > caulinite (Goldberg, 1997). O contributo da matéria orgânica para a adsorção de boro pode também ser elevado e ultrapassar o da fração mineral, dependendo do conteúdo e do tipo de argila presente no solo e do teor de matéria orgânica (Golberg e Suarez, 2012). Uma pequena fração de boro encontra-se solúvel no solo, sobretudo na forma de ácido bórico (H_3BO_3), sendo a fração solúvel a que representa o boro imediatamente disponível para as plantas (Bryson *et al.*, 2014). Estima-se que cerca de 0,1 mg kg⁻¹ de boro na solução seja uma quantidade suficiente para a nutrição da maioria das plantas (Havlin *et al.*, 2014).

Uma grande diversidade de fatores contribui para regular a disponibilidade de boro na solução do solo, com efeitos na absorção do nutriente pelas plantas e, eventualmente, nas suas perdas do solo por lixiviação. Alguns dos fatores que determinam a disponibilidade de boro no solo são pH, matéria orgânica e textura. A humidade e proximidade ao oceano têm também papel relevante na disponibilidade de boro para as plantas (Havlin *et al.*, 2014).

Um dos fatores que mais afeta a disponibilidade de boro no solo é o pH. À medida que o pH aumenta (no intervalo 3 a 9) o boro torna-se menos disponível para

as plantas (Goldberg, 1997). A matéria orgânica é um dos grandes reservatórios de boro no solo. A camada superficial do solo, mais rica em matéria orgânica, tem, por isso, maior disponibilidade de boro. A aplicação de matéria orgânica pode aumentar a disponibilidade de boro para as plantas, sobretudo em solos ácidos em que a adsorção nas partículas minerais é reduzida (Gupta, 2007). Os solos argilosos adsorvem comparativamente mais boro que os solos arenosos. Os solos ligeiros bem drenados podem ter teores de boro particularmente baixos e não conseguem adsorver o nutriente após a aplicação como fertilizante (Havlin *et al.*, 2014).

A deficiência de boro pode tornar-se mais severa com tempo seco. Humidade baixa no solo reduz a mineralização da matéria orgânica e dificulta o transporte de boro no solo para as raízes, que ocorre por fluxo de massa e difusão (Havlin *et al.*, 2014). A menor transpiração das plantas em tempo seco também reduz a mobilidade dos nutrientes por fluxo de massa (Broadley *et al.*, 2012).

Algum boro pode chegar ao solo através da água das chuvas na forma de ácido bórico não dissociado, designadamente em regiões mais próximas do mar. Os boratos libertados a partir dos oceanos representam 65 a 85 % do boro na atmosfera (Howe, 1998). A água de rega também fornece boro às culturas. Como o elemento é muito solúvel tende a ser lixiviado dos solos agrícolas, pelo que a água de rega contém sempre teores de boro que podem ter significado para as plantas (Arrobas e Moutinho-Pereira, 2009).

ABSORÇÃO, TRANSPORTE E FUNÇÕES DO BORO NAS PLANTAS

A maior parte do boro deverá entrar na raiz, de forma passiva não metabólica, com a corrente transpiratória na forma de ácido bórico não dissociado (H_3BO_3), embora seja atualmente aceite que algum boro possa entrar na planta por processos ativos, sobretudo quando os níveis de boro na solução do solo são baixos (Hu e Brown, 1997; Bryson *et al.*, 2014).

O boro é transportado das raízes para a parte aérea pelo xilema na corrente transpi-



ratória. Para a maioria das espécies o boro é considerado pouco móvel na planta, devido a restrita mobilidade no floema (Brown e Shelp, 1997; Reid, 2014). Contudo, o boro está presente no floema e em algumas espécies pode ser transportado em quantidades relevantes. Assim, o boro parece ser o único nutriente que apresenta mobilidade restrita em muitas espécies sendo bastante móvel em outras. Em plantas cujos principais produtos da fotossíntese translocados são complexos borato-poliol (como sorbitol, manitol ou dulcitol), o boro parece apresentar mobilidade elevada, como acontece na generalidade das pomóideas, prunóideas e brássicas (Wimmer e Eichert, 2013).

A maior parte do boro na planta acumula-se na região apoplástica, isto é, na parte exterior das células. O boro favorece a ligação entre os polissacáridos das paredes das células conferindo-lhe flexibilidade e estabilidade, um aspeto importante na expansão celular (Broadley *et al.*, 2012). A presença do boro na região apoplástica não lhe reduz, contudo, a capacidade de interferir no metabolismo da planta. O boro acumula-se nas paredes celulares, mas pode interferir com a membrana celular, influenciando a sua conformação e estimulando ou inibindo de forma direta ou indireta a atividade de algumas enzimas (Blevins e Lukaszewski, 1998).

Algumas das consequências mais visíveis da falta de boro, e que resultam do seu efeito na estabilidade da parede celular, estão associados ao processo reprodutivo. A deficiência de boro causa problemas no desenvolvimento do tubo polínico e origina esterilidade masculina, devido a anteras malformadas e grãos de pólen não viáveis (Gupta, 2007). Estes aspetos sugerem que o processo reprodutivo requer mais boro que a parte vegetativa. A razão principal poderá ser o crescimento rápido destes tecidos e o facto de as estruturas reprodutoras não serem suficientemente providas de feixes condutores e apresentarem baixa transpiração, fatores que reduzem o fornecimento de boro (Broadley *et al.*, 2012).

Um dos efeitos mais rápidos da falta de boro nas plantas é a inibição ou cessação do alongamento da raiz e de partes meristemáticas da parte aérea. As raízes podem ficar com aspeto ramificado e engrossado e ocorrer morte dos ápices meristemáticos. A razão pode ser a incapacidade da planta em sintetizar nova parede celular e a perda da integridade da membrana (Broadley *et al.*, 2012).

Os danos estruturais provocados pela deficiência de boro têm sido predominantemente observados em plantas dicotiledóneas. As gramíneas têm necessidades em boro muito mais baixas e raramente desenvolvem sintomas visíveis de deficiência (Wimmer e Eichert, 2013). As diferentes necessidades em boro entre dicotiledóneas e gramíneas serão devidas à composição da parede celular. Nas gramíneas, a parede celular contém pouco material péctico e necessita também de pouco cálcio. Por outro lado, contém quantidades elevadas de silício, tendo este elemento papel estrutural relevante na parede celular (Broadley *et al.*, 2012). As gramíneas têm concentrações de boro nos tecidos a variar normalmente entre 1 a 10 mg kg⁻¹ e as dicotiledóneas entre 20 a 70 mg kg⁻¹ (Bryson *et al.*, 2014).

O intervalo entre deficiência e toxicidade para o boro é mais estreito do que para qualquer outro nutriente (Shorrocks, 1997). A toxicidade é rara em solos agrícolas, a menos que tenha sido adicionado acidentalmente boro em excesso (Gupta, 2007). Contudo, em regiões áridas pode ocorrer excesso de boro naturalmente, ou o excesso dever-se ao uso de água de rega muito rica em boro. Os solos de maior risco são os de origem marítima, que resultaram da evaporação da água do mar ou de sedimentos marinhos argiláceos (Nable *et al.*, 1997).

RESPOSTA DA OLIVEIRA À APLICAÇÃO DE BORO

A oliveira é considerada uma planta de elevada sensibilidade à falta de boro, embora também revele alguma tolerância a níveis elevados de boro no solo (Freeman *et al.*, 2005). A partir de observações na Califórnia, Freeman e Carlson (2005) consideram que, a par do azoto, o boro é o elemento cuja probabilidade de aparecer em deficiência na oliveira é mais elevada. Também no interior norte de Portugal, a probabilidade de surgir deficiência de boro só pode ser comparável à de azoto, sendo visto na região como um elemento de elevada importância no programa anual de fertilização (Arrobas e Moutinho-Pereira, 2009; Arrobas *et al.*, 2010). O boro é ainda juntamente com o azoto dos elementos que as árvores mais rapidamente recuperam de uma situação de deficiência após a aplicação do elemento ao solo (Gregoriou e El Kholly, 2010).

O intervalo de concentrações adequadas de boro comumente aceite para as folhas de oliveira varia de 19-150 mg kg⁻¹ (Freeman *et al.*, 2005; Fernández-Escobar,

2017), embora em outras publicações se possam encontrar intervalos mais estreitos (LQARB, 2006; Bryson *et al.* 2014). Situações de deficiência, eventualmente com sintomas visíveis, espera-se que ocorram para valores de boro nas folhas inferiores a 14 mg kg⁻¹ (Gregoriou e El Kholly, 2010; Fernández-Escobar, 2017). Alguns autores propõem ainda como situação de excesso na oliveira valores superiores a 185 mg kg⁻¹ (Freeman *et al.*, 2005). A concentração de boro nas folhas varia, contudo, em função da carga de frutos e da época do ano. Em anos de contrassafra os teores de boro nos tecidos tendem a aumentar e no Verão tendem a ser mais elevados que no repouso vegetativo (Rodrigues *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 2019).

O boro tende a ser um elemento de reduzida mobilidade nas plantas, como se referiu. Contudo, em alguns géneros da família das rosáceas, sobretudo prunóideas e pomóideas, e algumas brássicas, o boro apresenta elevada mobilidade. Na oliveira o boro é considerado pouco móvel. Contudo, Delgado *et al.* (1994) mostraram que aplicando boro às folhas próximo da floração, a concentração de boro aumentou em diversos tecidos incluindo flores e frutos, o que sugere que o boro foi mobilizado das folhas para as partes em crescimento. Ferreira *et al.* (2019) registaram aumentos do teor em boro em folhas, caules e raízes após aplicação de boro foliar (Tabela 1), embora a extensão da mobilidade pareça depender da variedade (Tabela 2). Na oliveira, a mobilidade do boro parece estar associada à translocação no floema de manitol (Liakopoulos e Karabourhiotis, 2005).

TABELA 1. Teor de boro nos tecidos após aplicação de boro ao solo e por via foliar.

	B nos tecidos (mg kg ⁻¹)				
	Folhas		Caules		Raiz
	2016	2017	2016	2017	2017
Testemunha	14,6 c	14,5 c	16,2 c	13,1 c	11,5 c
Boro ao solo	67,8 a	117,9 a	70,1 a	124,3 a	124,5 a
Boro foliar	30,4 b	25,6 b	29,7 b	26,8 b	32,6 b

Nas colunas, médias seguidas de letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).

TABELA 2. Concentração de boro em folhas posicionadas em várias partes da planta em função do modo de aplicação de boro foliar à parte aérea separadamente por cultivar.

	Arbequina		Cobrançosa	
	Folhas velhas	Folhas jovens	Folhas velhas	Folhas jovens
	mg kg ⁻¹			
Não adubadas	16,7 c	16,9 c	16,6 b	21,0 ab
Adubação foliar	29,8 a	23,0 b	25,0 a	27,8 a
Adubação foliar parcial				
· Ramos protegidos	23,3 b	20,6 bc	21,0 ab	24,2 ab
· Ramos molhados	30,9 a	23,6 b	26,2 a	27,9 a

Nas colunas, médias seguidas de letras iguais não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey HSD ($\alpha = 0,05$).



FIGURA 1. Oliveira com sintomas severos de deficiência de boro: morte dos ápices vegetativos e forte rebentação basal.



FIGURA 2. Sintomas típicos de deficiência de boro em folhas, com a clorose a iniciar-se pela parte apical.



FIGURA 3. Frutos partenocárpicos minúsculos provocados por deficiência de boro.

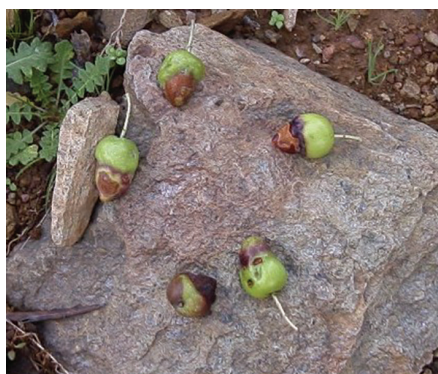


FIGURA 4. Frutos com necrose apical (face de macaco) da variedade santulhana.

Os sintomas de carência de boro no olival surgem como clorose no ápice e margens das folhas. Em deficiência mais severa os ápices vegetativos morrem e a planta responde com forte rebentação basal (**Figura 1**). Em algumas variedades a deficiência manifesta-se por clorose que evolui para necrose nas extremidades das folhas. A clorose começa por ser visível na parte apical da folha permanecendo a parte basal verde, o que lhe confere um aspeto distinto e peculiar (**Figura 2**). Podem surgir pequenos frutos partenocárpicos, sem caroço, devido a problemas na fecundação (**Figura 3**). Os frutos de algumas cultivares apresentam necroses na zona apical, adquirindo um aspeto conhecido como face de macaco (**Figura 4**). Contudo, apesar da carência de boro em oliveira apresentar uma sintomatologia muito peculiar, ela difere entre cultivares e pela ação de diversos outros stresses bióticos e abióticos, pelo que o diagnóstico de carência de boro por sintomatologia visual deva merecer sempre as devidas precauções.

A toxicidade de boro é menos comum em olivicultura e quando ocorre está normalmente associada a aplicação excessiva de boro como fertilizante. Em campo, sintomas de toxicidade de boro têm sido observadas em olivais jovens, que mostram clorose a iniciar nos bordos e ápices de folhas maduras que se generaliza pelas zonas apicais e que, no limite, pode originar a morte das plantas (Arrobas e Moutinho-Pereira, 2009).

Apesar do boro ser um elemento importante em olivicultura a exportação é reduzida. Rodrigues *et al.* (2012) estimaram exportações de boro de 20 a 25 g por tonelada de azeitona. Verificaram ainda que na colheita os frutos representam cerca de 51 % do boro contido na parte aérea da planta sendo, por isso, grande parte do elemento removido anualmente na colheita. Por outro lado, a eficiência de uso do boro pelas plantas tende a ser baixa, sendo absorvido 5 a 15 % do boro aplicado como fertilizante durante uma estação de crescimento (Shorrocks, 1997). Na prática, o boro é recomendado em doses a variar entre 0,5 a 3 kg ha⁻¹, devendo este aspeto merecer especial atenção em árvores jovens para não se aplicar boro em excesso, porque os limites de deficiência e toxicidade são muito estreitos para este elemento (Bryson *et al.*, 2014). Devido à mobilidade do boro no solo este deve ser aplicado anualmente em quantidades re-

duzidas para reduzir os riscos de perdas por lixiviação, sobretudo em solos com baixos teores em argila e pobres em matéria orgânica (Goldberg, 1997).

Os fertilizantes mais frequentemente utilizados para veicular boro são bórax e ácido bórico que se dissolvem rapidamente no solo, embora exista uma gama diversificada de produtos com diferentes níveis de solubilidade (Shorrocks, 1997). Admitindo que o boro é pouco móvel na planta, a aplicação foliar será pouco efetiva, uma vez que o boro não será remobilizado das folhas para flores, frutos e outras partes em crescimento. Admitindo mobilidade na planta, tal como alguns estudos têm sugerido, a aplicação foliar poderia ser um meio eficiente de fornecer boro às plantas. Contudo, a mobilidade do boro na oliveira parece depender das cultivares. Sem mais informação sobre este aspeto, mantém-se questionável a eficácia do boro aplicado por via foliar em olival.

NOTAS FINAIS ORIENTADAS AOS PRODUTORES

O boro é um problema nutricional importante em dicotiledóneas como a oliveira, sobretudo em solos pobres em matéria orgânica e com teores baixos em argila que não conseguem adsorver o elemento. A severidade do problema aumenta do litoral para o interior, devido ao afastamento ao oceano que é uma fonte natural de boro. A agricultura de sequeiro também é mais vulnerável à falta de boro, porque a água de rega introduz naturalmente algum boro no solo. Assim, a olivicultura de sequeiro do interior de Portugal é altamente vulnerável à carência de boro, na medida em que acentua todos os fatores negativos anteriormente referidos.


O boro deve ser aplicado nas doses adequadas às necessidades das plantas (0,5 a 3 kg ha⁻¹ de boro em função da idade das árvores). A aplicação deve ser anual, sobretudo em solos pobres em argila e em matéria orgânica, que não têm capacidade de adsorver o nutriente, para reduzir o risco de lixiviação com as águas das chuvas.

Ao contrário de pomóideas (macieira, pereira...) e prunóideas (pessegueiro, cerejeira...), não está inequivocamente demonstrada mobilidade do boro na oliveira, pelo menos para todas as cultivares. Os sintomas de carência de boro na oliveira são típicos dos elementos de baixa mobilidade. Assim, na oliveira é prudente aplicar o elemento ao solo, na forma de adu-



bos sólidos bem distribuídos de baixo da copa em olivais de sequeiro ou na água de rega em pomares com fertirrega instalada.

AGRADECIMENTO

Grupo Operacional Novas práticas em olivais de sequeiro: estratégias de mitigação e adaptação às alterações climáticas (Iniciativa ID 278). 

BIBLIOGRAFIA

- Arrobas, M., Lopes, J.I., Pavão, F., Cabanas, J.E., Rodrigues, M.A. 2010. Comparative boron nutritional diagnosis for olive based on July and January leaf samplings. *Commun Soil Sci Plant Anal* 41:709–720.
- Arrobas, M., Moutinho-Pereira, J. 2009. Fertilização do olival. In: Rodrigues, M. A., Correia, C. M. (Eds.). *Manual da safra e contra safra do Olival*. pp. 21–39.
- Blevins, D.G., Lukaszewski, K.M. 1998. Boron in plant structure and function. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49:481–500.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F. 2012. Function of nutrients, micronutrients. In: Marschner, P. (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier, London, UK. pp. 191–248.
- Brown, P.H., Shelp, B.J. 1997. Boron mobility in plants. *Plant Soil* 193: 85–101.
- Bryson, G., Mills, H.A., Sasseville, D.N., Jones Jr., J.B., Barker, A.V. 2014. *Plant Analysis Handbook III. A Guide to Sampling, Preparation, Analysis and Interpretation for Agronomic and Horticultural Crops*. Micro-Macro Publishing, Inc., Athens, GA.
- Delgado, A., Benlloch, M., Fernández-Escobar, R. 1994. Mobilization of boron in olive trees during flowering and fruit development. *HortScience* 29(6): 616–618.
- Fernández-Escobar, R., 2017. Fertilization. In: Baranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. (Eds.). *El Cultivo del Olivo*, 7th ed. Mundi-Prensa, Madrid, Spain. pp. 419–460.
- Ferreira, I.Q., Rodrigues, M.A., Arrobas, M. 2019. Soil and foliar applied boron in olive: tree crop growth and yield, and boron remobilization within plant tissue. *Span J Agric Res* 17 (1), e0901.
- Freeman, M., Carlson, R.M. 2005. Mineral nutrient availability. In: Sibbett, G.S., Ferguson, L. (Eds.) *Olive Production Manual*, 3353, 2nd ed. University of California Publication, Oakland, California. pp. 75–82.
- Freeman, M., Uriu, K., Hartmann, H.T. 2005. Diagnosing and correcting nutrient problems. In: Sibbett, G. S., Ferguson, L. (Eds.) *Olive Production Manual*, 3353, 2nd ed. University of California Publication, Oakland, California. pp. 83–98.
- Goldberg, S. 1997. Reactions of boron with soils. *Plant Soil* 193: 35–48.
- Goldberg, S., Suarez, D.L. 2012. Role of organic matter on boron adsorption-desorption hysteresis of soils. *Soil Sci* 177: 417–423.
- Gregoriou, C., El-Kholy, M. 2010. Fertilization, in: *Olive GAP Manual: Good Agricultural Practices for the Near East & North Africa Countries*. FAO, Rome, Italy.
- Gupta, U.C. 2007. Boron. In: Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (Eds.) *Handbook of plant nutrition*. CRC. pp. 241–277.
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. 2014. *Soil fertility and fertilizers, an introduction to nutrient management*, 8th edition. Pearson, Inc, New Jersey, USA.
- Howe, P.D. 1998. A review of boron effects in the environment. *Biol Trace Elem Res* 66:153–166.
- Hu, H., Brown, P.H. 1997. Absorption of boron by plant roots. *Plant Soil* 193: 49–58.
- Liakopoulos, G., Karabourniotis, G. 2005. Boron deficiency and concentrations and composition of phenolic compounds in *Olea europaea* leaves: A combined growth chamber and field study. *Tree Physiol* 25 (3): 307–315.
- LQARS (Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva). 2006. *Manual de fertilização das culturas*. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e Pescas. Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas, Lisboa, Portugal.
- Nable, R.O., Bañuelos, G.S., Paul, J.G. 1997. Boron toxicity. *Plant Soil* 198: 181–198.
- Reid, R. 2014. Understanding the boron transport network in plants. *Plant Soil* 385: 1–13.
- Rodrigues, M.A., Ferreira, I.Q., Claro, A.M., Arrobas, M. 2012. Fertilizer recommendations for olive based upon nutrients removed in crop and pruning. *Sci Hortic* 142: 205–211.
- Rodrigues, M.A., Pavão, F., Lopes, J.I., Gomes, V., Arrobas, M., Moutinho-Pereira, J., Ruivo, S., Cabanas, J.E., Correia, C.M. 2011. Olive yields and tree nutritional status during a four-year period without nitrogen and boron fertilization. *Commun Soil Sci Plant Anal* 42 (7):803–814.
- Shorrocks, V.M. 1997. The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant Soil* 193:121–148.
- Wimmer, M.A., Eichert, T. 2013. Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Sci* 203/204:25– 32.