

FATORES QUE AFETAM A DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES NO SOLO

Fernanda Dias dos Santos*¹, Roberta Aparecida Fantinel², Elenice Broetto Weiler², Jussara Cabral Cruz¹

¹Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, 97105900, Santa Maria, RS, Brasil.

²Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 97105900, Santa Maria, RS, Brasil

*E-mail: fernandadiotti@hotmail.com

Recebido em: 05/08/2020

Aceito em: 30/04/2021

DOI: 10.17058/tecnolog.v25i2.15552

RESUMO

Esta revisão bibliográfica visa abordar os micronutrientes, boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e zinco (Zn), que mesmo sendo demandados em quantidades inferiores, são tão importantes para a nutrição e o desenvolvimento das plantas, assim como os macronutrientes. Normalmente, quando os níveis de micronutrientes no solo são considerados baixos, recomenda-se uma adubação corretiva para atingir teores adequados e adubações de conservação para restabelecer a quantidade de nutrientes exportada pela planta. Os micronutrientes são aproveitados pelas culturas em quantidades pequenas, porém, sua falta pode ocasionar grandes perdas na produção. Zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), boro (B) e cloro (Cl) são os elementos ditos micronutrientes essenciais. Outros elementos, como o sódio (Na), cobalto (Co), silício (Si) e níquel (Ni), são considerados benéficos. A disponibilidade de micronutrientes de uma cultura é determinada pelos atributos do solo, como a textura, mineralogia, teor de matéria orgânica, umidade, pH, condições de oxidação-redução e interação entre nutrientes. O entrosamento da dinâmica dos micronutrientes nos distintos tipos de solo e da solicitação pelas culturas, definição de doses, fontes e táticas de fornecimento de micronutrientes, ajustadas às condições locais, são conhecimentos básicos e essenciais para o aumento da produtividade dos cultivos e uso competente da adubação.

Palavras-chave: Aporte nutritivo. Flexibilidade. Solo. Plantas.

1 Introdução

A fertilidade do solo tem como foco analisar a capacidade do solo de suprir nutrientes às plantas, tanto os macronutrientes quanto os micronutrientes, assim como sua interação com as plantas e a capacidade de absorção e perdas [1]. A necessidade de nutrientes que a planta demanda é verificada por meio de análise de solo ou foliar, sendo que a concentração de nutrientes em folhas completamente expandidas é a melhor indicação do estado nutricional das plantas, refletindo a condição de fertilidade do solo [2].

Os micronutrientes são nutrientes minerais [3], que em alguns casos são considerados essenciais para as plantas, como por exemplo, o ferro, manganês, zinco, cobre, boro, molibdênio, cloro e níquel, ou seja, o vegetal não consegue completar seu ciclo de vida na sua ausência [4]. Quando não há disponibilidade no solo dos mesmos, recomenda-se adubação até elevar os teores a níveis considerados adequados para as culturas expressarem seu

potencial de rendimento [5]. Esses nutrientes são encontrados em quantidades muito pequenas no solo e são requeridos pelas plantas em quantidades também pequenas [6-7].

As funções dos micronutrientes são complexas no desenvolvimento das plantas e suas funções são essenciais em todos os processos fisiológicos das mesmas [3, 8]. O cobre está associado com enzimas envolvidas em reações de oxidação-redução [9], atuando como constituinte e cofator de enzimas, participando do metabolismo de proteínas e de carboidratos e na fixação simbiótica de nitrogênio [10-11]. O boro está envolvido no alongamento celular, metabolismo do ácido nucléico e funções da membrana [12-15].

Os íons do molibdênio são componentes de várias enzimas e tem papel fundamental no metabolismo do nitrogênio [16, 17]. O ferro é essencial para a síntese do complexo proteína-clorofila nos cloroplastos [5,11]. O zinco é requerido para biossíntese de clorofila em algumas plantas [18, 5]. O manganês atua na evolução do O₂ no processo fotossintético [19]. O cloro é

requerido nas reações de quebra da molécula de água na fotossíntese para a produção de O₂ [20]. O níquel faz parte da urease, enzima que transforma a ureia em amônio e CO₂ [21-22].

A disponibilidade dos micronutrientes para as plantas estão associados a fatores intrínsecos do meio onde a planta está inserida, refletindo diretamente na quantidade absorvida por ela em seu estágio de desenvolvimento. Dessa forma o presente trabalho teve como foco abordar os fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo.

2 Desenvolvimento

Os coeficientes dos micronutrientes no solo são controlados pela adsorção e a precipitação [23]. A adsorção pode ser reversível, parcialmente reversível ou irreversível e acontece na face viscosa por meio de mecanismos que envolvem ou não troca iônica envolvendo ou não troca iônica [24-25]. Já a precipitação é dependente da quantidade de micronutrientes em estabilização na solução do solo [26]. Os mecanismos que interagem nos processos são diferentes; entretanto, dificilmente consegue-se distingui-los experimentalmente. A adsorção e a atividade dos micro-organismos são fatores que influenciam no nível de micronutrientes no solo, porém a fase mineral é o agente que controla a quantidade dos elementos na solução [27].

A adsorção dos micronutrientes é um processo de adesão deles aos coloides do solo suficientemente forte, sendo considerado importante no controle da sua abundância e passagem na solução do solo e, conseqüentemente, na sua disponibilidade para as plantas [28]. As perdas de nutrientes do solo se devem à alguns fatores, tais como erosão, lixiviação, volatilização, nitrificação, dentre outros, fazendo com que aumente a demanda do solo por esses nutrientes [29].

Solos provenientes de rochas ígneas ou sedimentares são abundantes em micronutrientes, onde os teores ainda são elevados devido ao processo de formação do solo [30], enquanto os solos arenosos reduzem a disponibilidade de nutrientes devido à perda por lixiviação, propiciando o aparecimento de sintomas de deficiência [2].

A falta de micronutrientes em cultivos representam uma preocupação, visto que pode ocasionar sérias perdas na produção [31]. A deficiência de micronutrientes tem sido favorecida pelo cultivo em solos de baixa produtividade e fertilidade [32, 1], sendo que a disponibilidade de micronutrientes é afetada diretamente pelo pH do solo, sendo que cada micronutriente responde de maneira diferente ao pH [33].

A disponibilidade de molibdênio e cloro aumenta proporcionalmente ao aumento do pH, assim como a disponibilidade de ferro, cobre, manganês e zinco diminui à medida que aumenta o pH. Já para o boro, existe uma faixa ótima, em torno do pH 7,0. A faixa adequada para a maioria das culturas está entre pH 6,0 e 6,5 [34].

O boro está disponível em maior quantidade na faixa de pH que vai de 5,0 até 7,0, sendo que a presença de matéria orgânica é fonte de boro para o solo [35], sendo responsável pelo desenvolvimento de raízes e transporte de açúcares [36]. Sua função difere dos outros micronutrientes, pois não possui nenhuma enzima específica [37]. Entre as principais funções atribuídas ao boro está o metabolismo; síntese de DNA e RNA e de fito hormônios; formação de paredes celulares e divisão celular, estando relacionado ao metabolismo do cálcio, ou seja, para formar a parede celular necessita-se desse nutriente [38, 39].

O cobre está disponível na faixa de pH que varia de 5,0 a 6,5, sendo que em solos orgânicos tendem a apresentar maior potencial de perdas e em solos argilosos, maior retenção do mesmo [40]. A presença excessiva de íons metálicos, como ferro, manganês e alumínio, reduz a disponibilidade de cobre para as plantas, independentemente do tipo de solo [41].

O manganês encontra-se disponível em solos com pH 5,0 a 6,5 [2]. Solos orgânicos tendem a apresentar problemas de deficiência, devido a formação complexa entre matéria orgânica e manganês [42-43]. A umidade do solo, é um fator que afeta a disponibilidade de manganês, sendo os sintomas mais severos observados em solos com alto teor de matéria orgânica e na estação fria, onde a umidade está em níveis saturados [44]. Excesso de cálcio, magnésio e ferro também podem causar deficiência de manganês [45].

A deficiência de manganês ocorre principalmente em solos alcalinos, devido à presença de rochas calcárias, conchas marinhas ou com calagem excessiva. As plantas afetadas apresentam clorose entre as nervuras convergente para a nervura central. As áreas cloróticas podem evoluir para estrias necróticas. A clorose tende a atingir apenas parte do limbo foliar, localizando-se no ápice e base da folha, e a lâmina foliar tende a ser mais estreita [46].

Os teores de zinco encontram-se em maior disponibilidade na faixa de pH entre 5,0 e 6,5. Quando se eleva o pH do solo acima de 6,5, pode-se desenvolver problemas relacionados à deficiência de zinco no solo, sendo que os mesmos podem aparecer devido ao uso de altas doses de fertilizantes fosfatados [47, 48]. Baixas temperaturas e excesso de umidade podem propiciar o surgimento de sintomas devido à falta de zinco,

visto que o mesmo é facilmente absorvido pelos coloides do solo, diminuindo as perdas por percolação, aumentando a decorrência residual, porém, em solos arenosos sob fortes chuvas, existe deficiência do nutriente [49-51].

As fontes e doses de zinco dependem da forma de aplicação, sendo que ela define o aproveitamento do micronutriente pela cultura [52]. Geralmente o material de origem é o responsável pela presença ou ausência do zinco, onde solos com baixa fertilidade apresentam esses sintomas de deficiência do nutriente [53].

O zinco é o elemento cuja forma mais comum em solução é a do cátion Zn^{+2} , sendo que o movimento se dá por difusão, ou seja, de onde tem maior concentração para onde tem menos concentração [54]. A deficiência do nutriente ocorre em uma ampla variedade de solos, principalmente com o cultivo intensivo ao longo do tempo. No Brasil, a deficiência do micronutriente é a mais comum dentre eles, principalmente em solos sob cerrado e solos arenosos, sendo que a carência deste micronutriente acarreta sérias alterações ao metabolismo vegetal, os quais implicam na redução da produtividade de culturas temporárias e perenes [55].

Molibdênio é um nutriente que se encontra em maior disponibilidade acima de pH 7,0. A maior probabilidade de ocorrer deficiência está relacionada a solos ácidos, sendo que em solos arenosos a deficiência ocorre com frequência quando comparado com solos de textura média ou argilosos. A presença de molibdênio em excesso é tóxica, principalmente para animais sob pastejo, onde o sintoma característico é a diarreia [3].

Contudo, o molibdênio aumenta a eficiência da nutrição nitrogenada e a produção de sacarose. É fundamental para o metabolismo do nitrogênio em culturas que utilizam como fonte deste nutriente o nitrato do solo ou o nitrogênio da atmosfera derivado do processo de fixação biológica por bactérias diazotróficas associadas à planta [56]. A cana-de-açúcar pode receber nitrogênio proveniente destas duas fontes e, portanto, afirma-se que o molibdênio é fator fundamental na produção desta cultura, pois o seu abastecimento apropriado é indispensável para que a elevada demanda de nitrogênio pelas plantas seja atendida, principalmente pela otimização da contribuição da retenção biológica de nitrogênio na nutrição nitrogenada [36].

O ferro (Fe) é um micronutriente que constitui 5% da crosta terrestre e é resultante da presença dos óxidos livres [57]; [58]. Um fator importante para a disponibilidade de ferro no solo é o pH. Já a presença de matéria orgânica e também de fósforo podem comprometer a disponibilidade de ferro para as plantas. Isso se deve ao fato de que para ser aspirado pelas plantas ele precisa ser reduzido de Fe^{3+} para Fe^{2+} [59]. Aplicações foliares de

fosfato em tomateiro podem ser usadas para ativar respostas de defesa das plantas, mas elas não contribuiriam para melhorar o crescimento e o estado nutricional da planta, indicando que pode ser um traçador para outros nutrientes [60].

Dentre as principais funções do ferro, estão: ativador ou componente de enzimas, influência na fixação do nitrogênio; catalisador na biossíntese da clorofila e atua no desenvolvimento de troncos e raízes [5, 12]. A falta de ferro é sentida principalmente na cultura de soja e nas frutíferas, sendo que os sintomas da deficiência do nutriente são observados nas folhas jovens e, devido ao ferro ser pouco móvel na planta, essas áreas tendem a apresentar folhas finas e amareladas, frágeis e vitrificadas [61]. Também é comum perceber que somente as nervuras das folhas permanecem verdes, enquanto os limbos ficam amarelados [62]. Quando a deficiência por ferro se agrava, ocorre a morte e a queda das folhas, podendo chegar ao desfolhamento total [63]. Em plantas anuais inibe o crescimento e em arbóreas as folhas caem, os frutos diminuem de tamanho e ocorre amadurecimento precoce [64].

A maior disponibilidade de ferro está na faixa de pH entre 4,0 e 6,0, sendo que a deficiência do mesmo é causada pelo desequilíbrio em relação a outros metais, como molibdênio, cobre e manganês [65, 12]. Excesso de fósforo, pH elevado, calagem excessiva, baixas temperaturas e altos níveis de bicarbonato também podem levar a deficiência de ferro no solo [66].

As fontes de micronutrientes são o material de origem do solo, matéria orgânica, adubos minerais, calcário, adubos orgânicos, compostos inorgânicos simples, quelatos e silicatos complexos, porém, geralmente a necessidade é baixa, e quando é feita a aplicação de adubação a mesma é em quantidades pequenas [67]. Ainda assim, a omissão dos mesmos reduz o desenvolvimento de plantas [68].

3 Conclusões

Apesar da disponibilidade de micronutrientes ser afetada por diversos fatores, material de origem dos solos, uso e manejo, condições climáticas, percebe-se que o uso dos mesmos é de suma importância para o desenvolvimento das plantas

Em solos que forem necessárias aplicações de adubação de micronutrientes, estas são feitas em pequenas quantidades, pois quando avaliada a necessidade das culturas, tanto perenes quanto anuais, geralmente é muito inferior à de macro nutrientes, que representa um dos custos mais elevados dos cultivos atuais.

FACTORS AFFECTING THE MICRONUTRIENT AVAILABILITY IN THE SOIL

ABSTRACT: This bibliographic review aims to address the micronutrients boron (B), copper (Cu), chlorine (Cl), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo) and zinc (Zn), which despite being demanded in lower quantities, they are just as important for plant nutrition and development, as are macronutrients. Normally, when micronutrient levels in the soil are considered low, corrective fertilization is recommended to achieve adequate levels, and conservation fertilizers to restore the amount of nutrients exported by the plant. Micronutrients are used by cultures in small quantities, however, their lack can cause large losses in production. Zinc (Zn), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo), boron (B) and chlorine (Cl) are the elements called essential micronutrients. Other elements, such as sodium (Na), cobalt (Co), silicon (Si) and nickel (Ni), are considered beneficial. The availability of micronutrients in a crop is determined by the attributes of the soil, such as texture, mineralogy, organic matter content, moisture, pH, oxy-reduction conditions and interaction between nutrients. The interplay of micronutrient dynamics in different types of soil and the demand for crops, definition of doses, sources and tactics of micronutrient supply, adjusted to local conditions, are basic and essential knowledge for increasing crop productivity and competent use of fertilizing.

Keywords: Nutritious contribution. Flexibility. Ground. Plants.

Referências

- [1] DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro científico (ALICE), 2007.
- [2] DA ROS, C.O.; SECCO, D.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. UNICRUZ. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:407-414, 2005.
- [3] KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. Informações agronômicas, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.
- [4] FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. Revista Agro Ambiente On-line, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.
- [5] ALEXANDRE, J. R.; OLIVEIRA, M. L.; SANTOS, T. D.; CANTON, G. C.; CONCEIÇÃO, J. D.; EUTRÓPIO, F. J.; RAMOS, A. C. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo. Natureza on line, v. 10, n. 1, p. 23-28, 2012.
- [6] MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M.; REISSMANN, C. B.; DIONISIO, J. A. Micronutrientes na rocha, no solo e na planta. Curitiba: UFPR, 2007.
- [7] SFREDO, G. J.; SARRUGE, J. R. Acúmulo de micronutrientes em plantas de girassol. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 25, n. 4, p. 499-503, 1990.
- [8] BONATO, C. M.; RUBIN FILHO, C. J.; MELGES, E.; SANTOS, V. D. Nutrição mineral de plantas. Maringá: Universidade Estadual do Maringá, 137p, 1998.
- [9] KLEIN, S. G.; BRAIBANTE, M. E. F. Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. Química Nova na Escola, v. 39, n. 1, p. 35-45, 2017.
- [10] STAFANATO, J. B.; DE SOUZA GOULART, R.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C. G.; DE SOUZA, H. N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, n. 3, p. 726-732, 2013.
- [11] CORCIOLI, G.; BORGES, J. D.; JESUS, R. P. de. Deficiência de macro e micronutrientes em mudas maduras de Khaya ivorensis estudadas em viveiro. Cerne, v. 22, n. 1, p. 121-128, 2016.
- [12] SOUZA, R. R. D.; PAIVA, P. D. D. O.; CARVALHO, J. G. D.; ALMEIDA, E. F. A.; BARBOSA, J. C. V. Doses de boro no desenvolvimento de copo-de-leite em solução nutritiva. Ciência e Agrotecnologia, v. 34, n. 6, p. 1396-1403, 2010.
- [13] SILVA JUNIOR, M. L. D.; SOUZA JUNIOR, C. J. D.; BRAGA, A. C. M.; OHASHI, O. S.; MELO, V. S. D.; SILVA, G. R. D.; SALDANHA, E. C.

- M. Crescimento de mogno-brasileiro e resistência a *Hypsipyla grandella* em função do cálcio e do boro. *Revista Árvore*, v. 38, n. 6, p. 1085-1094, 2014.
- [14] BRUNES, A. P.; MENDONÇA, A. O.; DE OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; LEITZKE, I. D.; VILLELA, F. A. Produção, qualidade e expressão isoenzimática de semente de trigo produzidas sob diferentes doses de boro. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 14, n. 3, 2016.
- [15] MORAES-DALLAQUA, M.; BELTRATI, C. M.; PEDRAS, J. F. Alterações morfológicas no caule de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* Cv carioca) causadas por diferentes níveis de boro, na solução nutritiva. *Brazilian Journal Of Agriculture - Revista de Agricultura*, v. 73, n. 2, p. 183-200, 2020.
- [16] FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; NETO, D. D.; MÜLLER, L. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja-Revisão. *Revista da FZVA*, v. 14, n. 1, 2007.
- [17] HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. *Embrapa Soja- Documentos (INFOTECA-E)*, 2007.
- [18] FUNGUETTO, C. I.; PINTO, J. F.; BAUDET, L.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de arroz irrigado recobertas com zinco. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 2, p. 117-123, 2010.
- [19] CHECCHIO MINGOTTE, F. L.; RODRIGUES DOS SANTOS, C. L.; PRADO, R. D. M.; FLORES, R. A.; TOGORO, A. H.; DOS SANTOS DA SILVA, J. A.; AQUINO, D. S. Manganês na nutrição e na produção de massa seca do capim-mombaça. *Bioscience Journal*, p. 879-887, 2011.
- [20] BORGES, A. L.; BRASIL, E. C. Adubação. *Embrapa Amazônia Oriental-Capítulo em livro científico (ALICE)*, 2014.
- [21] CAMPANHARO, M.; MONNERAT, P. H.; ESPINDULA, M. C.; RABELLO, W. D. S. Doses de níquel em feijão caupi cultivado em dois solos. *Revista Caatinga*, v. 26, n. 4, p. 10-18, 2013.
- [22] REIS, A. D.; RODAK, B. W.; PUTTI, F. F.; MORAES, M. F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. *Informações Agronômicas*, v. 147, p. 10-24, 2014.
- [23] VINHAL-FREITAS, I. C.; MALDONADO, A. C. D.; ALVARENGA, C. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Adsorção e dessorção de metais no solo e coeficientes de isoterma de Freundlich e Langmuir. *Agropecuária Técnica*, v. 31, n. 2, p. 153-163, 2010.
- [24] OLIVEIRA, A. M. S. Síntese e caracterização de zeólitas nanoestruturadas para adsorção de íons Mn^{2+} em meio aquoso. *Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, MG*. 2019.
- [25] GONÇALVES, W. D. G. Utilização de líquidos iônicos como ativadores na redução eletroquímica do dióxido de carbono. *Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS*. 2018.
- [26] BARBOSA, J. A. Valorização de lamas provenientes do tratamento de águas residuais. *Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências e Tecnologia*. 2008.
- [27] LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York, John Wiley & Sons, 1979. 449p.
- [28] CAMARGO de, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. 2006.
- [29] GUARESCHI, R. F.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; SARKIS, L. F.; MARTINS, M. D. R.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na agricultura da América Latina e o Caribe. *Terra Latinoamericana*, v. 37, n. 2, p. 105-119, 2019.
- [30] KRAUSKOPF, K.B.; *Geochemistry of micronutrientes*. In: MORVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; LINDSAY, W.L. *Micronutrientes in agriculture*. Madison Wisconsin: SSSA, 1972, P.7-36.
- [31] VAN RAIJ, B. CANTARELA, H., QUAGGIO, J. A., FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. *Boletim Técnico*, 100.
- [32] MASCARENHAS, H. A. A.; DE FÁTIMA ESTEVES, J. A.; WUTKE, E. B.; GALLO, P. B. *Micronutrientes em soja no estado de São Paulo*. *Nucleus*, v. 11, n. 1, p. 323-343, 2014.
- [33] PEREIRA, N. M. Z.; ERNANI, P. R.; SANGOI, L. Disponibilidade de zinco para o milho afetada pela adição de Zn e pelo pH do solo. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 6, n. 03, 2007.
- [34] MALAVOLTA, E. - *ABC da Adubação*. Editora Agronômica CERES Ltda. São Paulo (SP), 256 p. 1979.
- [35] SOARES, M. R.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Parâmetros termodinâmicos da reação de adsorção de boro em solos tropicais altamente intemperizados. *Química Nova*, v. 28, n. 6, p. 1014-1022, 2005.
- [36] DECHEN, A.R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q. A. de C. *Função dos micronutrientes nas plantas*. Organizado por FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato e CNPq, p.66-78, 1991.
- [37] ORLANDELLI, R. C.; SPECIAN, V.; FELBER, A. C.; PAMPHILE, J. A. *Enzimas de interesse industrial: produção por fungos e aplicações*. *SaBios-Revista de Saúde e Biologia*, v. 7, n. 3, 2012.
- [38] NAVA, G. A.; DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; MARODIN, G. A. B. Fenologia e produção de pessegueiros granada com aplicação de cianamida hidrogenada e boro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 2, p. 297-304, 2009.
- [39] WAZILEWSKI, W. T.; GOMES, L. F. S. Boro aplicado via semente em girassol. *Cultivando o saber*, v. 2, n. 2, p. 137-142, 2009.
- [40] FERREIRA, G. B. Dinâmica das frações de micronutrientes catiônicos e esgotamento de formas disponíveis de boro, cobre, ferro, manganês e zinco, em solos de Minas Gerais. *Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG*. 2003.

- [41] DA ROS, C.O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. UNICRUZ. *Ciência Rural*, v. 33, n. 5, set-out, 2003.
- [42] FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja-Rhizobium. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 6, n. 1, p. 57-66, 1971.
- [43] CARVALHO FILHO, A. D.; CURTI, N.; MARQUES, J. J. G. D. S.; SHINZATO, E.; FREITAS, D. A. F. D.; JESUS, E. A. D.; MASSAHUD, R. T. L. R. Óxidos de manganês em solos do quadrilátero ferrífero (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 793-804, 2011.
- [44] ABREU, C. A.; VAN RAIJ, B.; ABREU, M. F.; PAZ GONZALEZ, A. Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 579-584, 2004.
- [45] VELOSO, C. A. C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; DE CARVALHO, J. G. Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.). *Scientia Agricola*, v. 52, n. 2, p. 376-383, 1995.
- [46] TODESCHI, M. Aggregation, habitat characteristics and species coexistence. *Vehandlungen der Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie*, 24, 2964. 1991.
- [47] SMANHOTTO, A.; SOUSA, A. D. P.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H.; PRIOR, M. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residual de suinocultura em solo cultivado com soja. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 2, p. 347-357, 2010.
- [48] MUNER, L. H. D.; RUIZ, H. A.; VENEGAS, V. H.; NEVES, J. C.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. D. S. Disponibilidade de zinco para milho em resposta à localização de fósforo no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 29-38, 2011.
- [49] DE TUNES, L. M.; PEDROSO, D. C.; TAVARES, L. C.; BARBIERI, A. P. P.; BARROS, A. C. S. A.; MUNIZ, M. F. B. Tratamento de sementes de trigo com zinco: armazenabilidade, componentes do rendimento e teor do elemento nas sementes. *Ciência Rural*, v. 42, n. 7, p. 1141-1146, 2012.
- [50] OLIVEIRA, M. F. G.; NOVAIS, R. D.; NEVES, J. C. L.; VASCONCELOS, C. A.; ALVES, V. M. C. Relação entre o zinco "disponível", por diferentes extratores, e as frações de zinco em amostras de solos. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 23, n. 4, p. 827-836, 1999.
- [51] RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. *Ciência Rural*, v. 26, n. 1, p. 159-165, 1996.
- [52] CUNHA, K. P. V. D.; NASCIMENTO, C. W. A. D.; PIMENTEL, R. M. D. M.; ACCIOLY, A. M. D. A.; SILVA, A. J. D. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, p. 1319-1328, 2008.
- [53] COSTA, R.S.S. Aplicação de quelatos de zinco em um solo deficiente cultivado com milho em casa de vegetação. Jaboticabal, São Paulo Brasil. Janeiro De 2008.
- [54] LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos - ANDA, 72 p. 1999.
- [55] OHSE, S.; SANTOS, O.M.; MORODIM, V.; MANFRON, P.A. Efeito do tratamento de sementes de arroz irrigado com zinco em relação a aplicação no substrato. *Revista FZVA, Uruguiana*, v.5/6, n.1, p.35-41, 1999.
- [56] PROCHNOW, L. I., CASARIN, V.; STIPP, S. R. Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes. Piracicaba, SP: IPNI – Brasil, v.3 anais – p. 05 – 34; p. 43 – 89; p. 139 – 155, 2010.
- [57] JEONG, J.; GUERINOT, M. L. Homing in on iron homeostasis in plants. *Trends Plant Science*. v. 14, p. 280-285. 2009.
- [58] HÄNSCH, R.; MENDEL, R. R. Physiological functions of mineral micronutrientes (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*. v.12, p.259-266. 2009.
- [59] SILVA, L. G.; GUIMARÃES, G. P.; SILVA, S. F.; AMARAL, J. F. T.; AMARAL, J. A. T.; CUNHA, G. M. Influência de doses de ferro em plantas de feijão cultivadas em solução nutritiva. Universidade Federal do Espírito Santo Departamento de Produção Vegetal, Alegre-ES. 2011.
- [60] VINAS, M.; MENDEZ, J. C.; JIMÉNEZ, V. M. Effect of foliar applications of phosphites on growth, nutritional status and defense responses in tomato plants. *Scientia Horticulturae*, v. 265, 2020.
- [61] MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, 1997.
- [62] SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. Deficiências e Toxicidades de Nutrientes em Plantas de soja. CNPSo, 2004.
- [63] FRANCO, C. M.; MENDES, H. C. Sintomas de deficiências minerais no cafeeiro. *Bragantia*, v. 9, n. 9-12, p. 165-173, 1949.
- [64] DA SILVA, G. F.; FONTES, P. C. R.; DE LIMA, L. P. F.; DE ARAÚJO, T. O.; DE FREITAS SILVA, L. Aspectos morfoanômicos de plantas de pepino, *Cucumis sativus* L., sob omissão de nutrientes. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 6, n. 2, p. 9, 2011.
- [65] DE OLIVEIRA, A. B.; DO NASCIMENTO, C. W. A. Formas de manganês e ferro em solos de referência de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 1, p. 99-110, 2006.
- [66] NUNES, F. N.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; GEBRIM, F. O.; SÃO JOSÉ, J. F. B. Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, p. 423-429, 2004.

[67] NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.471-537. 2007

[68] CAMACHO, M. A.; CAMARA, A. P.; ZARDIN, A. R. Diagnose visual de deficiência de nutrientes em mudas de *Bombacopsis glabra*. *Cerne*, v. 20, n. 3, p. 427-431, 2014.