



Revista Agrária Acadêmica

[Agrarian Academic Journal](#)

Volume 3 – Número 4 – Jul/Ago (2020)



doi: 10.32406/v3n42020/66-77/agrariacad

Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes, micronutrientes e toxidez por sódio em erva-mate. Visual symptoms of deficiency of macronutrients and micronutrients and sodium toxicity in yerba mate.

[Orlando Sílvio Caires Neves](#)¹, [Claudimar Sidnei Fior](#)²

¹ Professor Associado do Instituto Multidisciplinar em Saúde, Universidade Federal da Bahia – UFBA. Vitória da Conquista - BA, Brasil. E-mail: orlandosilvio@ufba.br

² Professor Adjunto do Departamento de Horticultura e Silvicultura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, Brasil. E-mail: csfior@ufrgs.br

Resumo

Objetivou-se caracterizar a sintomatologia de deficiências de macronutrientes, micronutrientes e toxidez por sódio em mudas de erva-mate, utilizando-se a técnica do elemento faltante. Foram aplicados doze tratamentos (completo, omissão isolada de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, M, Zn e completo mais sódio. As mudas de erva-mate submetidas aos tratamentos expressaram alterações morfológicas que possibilitaram caracterizar os sintomas visuais da deficiência de cada nutriente e toxidez por sódio. Em ordem cronológica, os aparecimentos dos sintomas visuais de deficiência para os macronutrientes foi: Mg → N → S → Ca → K → P. Para os micronutrientes a ordem foi: Fe → Cu → B → Mn → Zn.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*. Solução nutritiva. Omissão de nutrientes.

Abstract

The objective of this work was to characterize the symptoms of deficiencies of macronutrient, micronutrients and sodium toxicity in yerba mate seedlings, using the missing element technique. Twelve treatments were applied (complete, isolated omission of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, M, Zn and complete plus sodium. Yerba mate seedlings submitted to the treatments expressed morphological changes that made enabled characterization of the visual symptoms of the deficiency of each nutrient and sodium toxicity. In chronological order, the appearance of visual deficiency symptoms for macronutrients was, as follows: Mg → N → S → Ca → K → P. for the micronutrient, the order was: Fe → Cu → B → Mn → Zn.

Keywords: *Ilex paraguariensi*. Nutrient omission. Nutritive solution.

Introdução

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é nativa da região Sul do Brasil e, além de ser usada nos tradicionais chimarrão e tereré, bebidas típicas de algumas regiões do país, também é matéria prima para produção de medicamentos, cosméticos, produtos de higiene dentre outros (SANTIN et al., 2013).

A produção nacional de erva-mate atingiu em 2017, 619 mil toneladas, sendo o Estado do Rio Grande do Sul o maior produtor, com mais de 30 mil hectares cultivadas e com produção de mais de 300 mil toneladas, cerca de 48,8% da produção nacional. O Estado do Paraná é o segundo maior produtor, com aproximadamente 237 mil toneladas (38,4%), seguido por Santa Catarina, com 78 mil toneladas (12,6%) e Mato Grosso do Sul, com 1,5 mil toneladas (0,2%) (SINDIMATE'RS, 2019). O setor ervateiro apresenta expressiva importância socioeconômica e cultural (ZANCHETT et al., 2016).

Para Santin et al. (2017), o fato de a erva-mate ocorrer naturalmente em regiões onde situam-se os principais polos de produção atuais, fez do extrativismo o principal modelo de exploração da cultura, onde entendia-se que a ciclagem de nutrientes do ambiente nativo era suficiente para manter a produtividade, com colheitas a cada 3 a 4 anos. No intuito de atender à demanda por matéria-prima, parte dos ervais nativos foi manejada, retirando-se outras espécies presentes e introduzindo novas plantas de erva-mate, originando cultivos mais adensados. Essas mudanças na estrutura de condução e manejo de cultivos intensificaram a exportação de nutrientes da área, sem que houvesse preocupação em repô-los. O excesso de exportação de um nutriente e a falta de reposição levam à deficiência nutricional, que pode ser expressa através de sintomas foliares, a depender do grau da deficiência.

Na planta, a falta de um nutriente, ou a sua oferta em excesso, é traduzida em anormalidades visíveis, típicas de cada nutriente; entretanto, antes da manifestação visível da deficiência, o crescimento e a produção já poderão estar limitados: é o que se chama de “fome oculta” (MALAVOLTA et al., 1997). As principais alterações foliares causadas pelo desequilíbrio se refletem na mudança da coloração, tamanho da folha, abscisão e necroses, em diferentes graus (GONÇALVES et al., 2006; RAMOS et al., 2009).

A ordem decrescente de macronutrientes mais exigidos e que mais contribuem para o crescimento vegetativo da erva-mate é $P > N > K > Mg > Ca$, e para o crescimento de raiz a ordem é $P > N > Ca > K > Mg$ (SANTIN et al., 2013). Apesar dos estudos avaliando a resposta da erva-mate à adubação, não foram encontradas publicações científicas que apresentem a caracterização visual da deficiência nutricional.

O cultivo em solução nutritiva e a técnica do elemento faltante são utilizados na pesquisa científica principalmente para obtenção de informações sintomatológicas de carência ou toxidez de determinado nutriente nas plantas, auxiliando no aperfeiçoamento do sistema de produção. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a sintomatologia de deficiências de macronutrientes, micronutrientes e toxidez por sódio em mudas de erva-mate, utilizando-se a técnica do elemento faltante.

Material e métodos

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Departamento de Horticultura e Silvicultura da Faculdade de Agronomia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e conduzido de maio a dezembro de 2019.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e doze tratamentos, representados por: solução nutritiva (HOAGLAND; ARNON, 1950) completa (testemunha), solução nutritiva menos nitrogênio (-N), solução nutritiva menos fósforo (-P), solução nutritiva menos potássio (-K), solução nutritiva menos cálcio (-Ca), solução nutritiva menos magnésio (-Mg), solução nutritiva menos enxofre (-S), solução nutritiva menos boro (-B), solução nutritiva menos cobre (-Cu), solução nutritiva menos ferro (-Fe), solução nutritiva menos manganês (-Mn), solução nutritiva menos zinco (-Zn) e solução nutritiva completa acrescida de 40 mmol L⁻¹ de NaCl. Cada parcela foi constituída por uma planta por vaso de 2,5 L.

As mudas utilizadas foram oriundas de sementes, sendo germinadas em substrato a base de turfa de *Sphagnum*, casca de arroz carbonizada e casca de pinus compostada. Trinta dias após a germinação, as mudas foram transferidas para solução nutritiva completa com 25; 50 e 100% da sua força iônica, durante período de 15 dias em cada concentração, respectivamente. Após o período de aclimatação, aplicaram-se os tratamentos onde foram omitidos os macro e micronutrientes, individualmente e acrescentado o NaCl em um dos tratamento. As soluções foram trocadas a cada vinte e um dias, durante os 200 dias de condução do experimento, ou quando a Condutividade Elétrica (CE) da solução era reduzida a 75% da medida inicial.

À medida em que os sintomas de deficiência iam sendo manifestados, os respectivos tratamentos eram colhidos, fotografados e realizadas as descrições detalhadas da sintomatologia.

Resultados e discussão

As mudas de erva-mate sob omissão de N manifestaram sintomas a partir das folhas mais velhas, que foram perdendo gradualmente a tonalidade verde-escura e passando para verde-pálido, com posterior amarelecimento, distribuído uniformemente por todo o limbo foliar (Figuras 1A e 1C). O N absorvido é facilmente distribuído na planta, pelo floema, mas quando seu suprimento é insuficiente, ele passa dos órgãos mais velhos para os órgãos mais novos (MALAVOLTA et al., 1997). Com a intensificação da deficiência, toda a planta se tornou amarelecida.

A clorose uniforme nas folhas de plantas com deficiência de N está associada à diminuição da síntese ou decomposição de proteínas da clorofila em compostos mais simples (FASABI, 1996). Quando o suprimento é insuficiente, o N de folhas velhas é mobilizado e redistribuído para os órgãos e folhas mais jovens, causando inicialmente clorose nas folhas velhas.

Os sintomas foliares de deficiência em P só apareceram no final do experimento, evidenciando pequena necessidade desse nutriente pela erva-mate, sendo que o P absorvido enquanto as plantas estavam em período de aclimatação, foi suficiente para manter um crescimento satisfatório até aproximadamente 180 dias de condução do experimento. Após este período, o último par de folha apresentou coloração arroxeadada em todo o limbo e menor área foliar quando comparadas às folhas do tratamento completo (Figuras 1B e 1D).

De acordo com Gonçalves et al. (2006), estudando umbuzeiro e Corcioli et al. (2016), estudando mogno africano, os dados de crescimento obtidos no tratamento com omissão de P indicam menor exigência desse nutriente na fase inicial de crescimento do umbuzeiro, sendo o P da reserva da raiz, somado ao P absorvido na fase de adaptação (solução completa), suficientes para manter crescimento similar ao da testemunha, o que está de acordo com o que foi observado no presente trabalho.

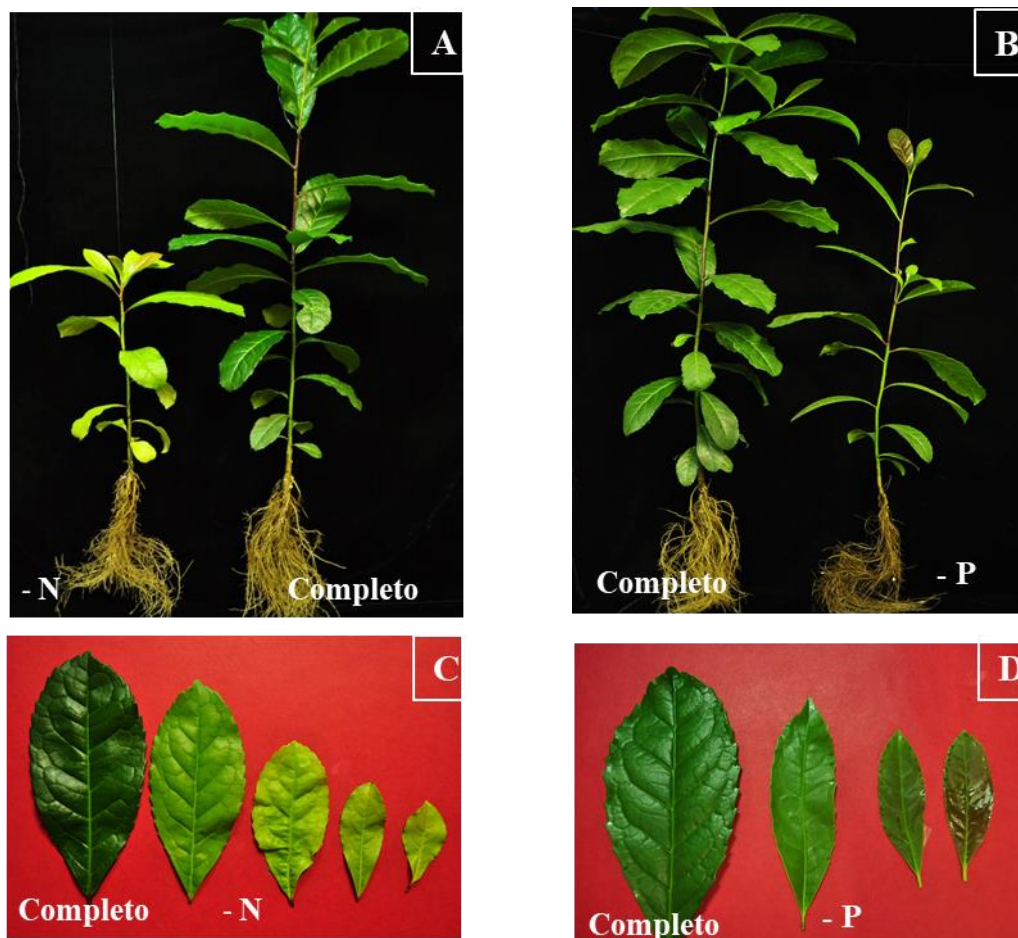


Figura 1 - Sintomas de deficiência de N em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (A e C); sintomas de deficiência de P em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (B e D).

O P é um componente estrutural de nucleotídeos, fosfolipídios, coenzimas, fosfoproteínas e ácidos nucleicos e sua deficiência resulta na escassez de moléculas de armazenamento de energia (adenosina trifosfato - ATP) para manter os processos fotossintéticos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Os sintomas de deficiência de K em erva-mate se caracterizaram, inicialmente, por clorose internerval leve das folhas mais velhas, seguida de encarquilhamento e necrose que progrediu para as bordas, provocando queda de folhas (Figuras 2A e 2C).

Os primeiros sintomas de deficiência de K em *Croton urucurana* foram clorose em folhas mais velhas, seguidos por necrose das margens e pontas das folhas (SORREANO et al., 2011). A clorose em folhas mais velhas com deficiência de K também foi observada em *Handroanthus ochraceus* (VIEIRA et al., 2016) e *Schizolobium amazonicum* (LEITE et al., 2017).



Figura 2 - Sintomas de deficiência de K em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (A e C); sintomas de deficiência de Ca em mudas/segmento apical de erva-mate comparadas com mudas/segmento apical sem deficiências nutricionais (B e D).

Em plantas com deficiência de potássio, os compostos nitrogenados solúveis, inclusive as aminas e putrescinas, muitas vezes, se acumulam, sendo a última provavelmente responsável pelas manchas necróticas que aparecem nas folhas deficientes nesse nutriente, previamente em folhas mais velhas devido a mobilidade no interior dos tecidos vegetais (MACHADO et al., 2016).

A omissão do Ca acarretou anormalidades visuais nas folhas mais novas e murchamento das gemas terminais, com posterior necrose (Figuras 2B e 2D). No limbo, inicialmente ocorreu necrose ao longo das margens, evoluindo para abscisão foliar. Com a evolução da deficiência, houve necrose total dos três últimos pares de folhas.

À medida que a deficiência de Ca progride, manchas escuras nas paredes das células e lacunas podem aparecer, indicando um enfraquecimento de sua estrutura e formação de espaços intercelulares (MARINOS, 1962).

A presença de espaços intercelulares e a desestruturação da lamela média em folhas de *Ceiba speciosa* quando deficientes em Ca foram observadas por Sorreano (2006). Isso ocorre porque o Ca é componente de pectatos que formam a parede celular, da lamela média e da membrana plasmática, sendo essencial para a estabilidade da membrana e aumento da rigidez da parede celular (TAIZ; ZEIGER, 2017).

No processo metabólico, o Ca afeta a atividade de hormônios e de enzimas, como os que regulam a senescência e a abscisão das folhas (MARSCHNER, 2012). O colapso do segmento

apical devido à deficiência de Ca foi descrito para *Croton urucurana* (SORREANO et al., 2011), *Spondias tuberosa* arr. Câm (GONÇALVES et al., 2006), clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake (SILVEIRA et al., 2002). Este é um sintoma comum em diversas outras plantas.

Os sintomas visuais de deficiência de Mg foram os primeiros a aparecerem. Inicialmente, a nervura principal das folhas do terço médio das mudas tornou-se levemente amarela; com o agravamento da deficiência, a clorose se expandiu entre as nervuras das folhas. Antecedendo à abscisão, o amarelecimento das folhas se tornou mais intenso. Houve abscisão das folhas do terço médio das mudas de erva-mate (Figuras 3A e 3C). Antes da queda foliar, estas apresentaram manchas necróticas circulares e aspecto pálido.

A deficiência de Mg causa alterações nos cloroplastos, tanto na granulação do amido quanto na ruptura da membrana. Observações neste sentido foram feitas em *Ceiba speciosa* (SORREANO, 2006) e *Ricinus communis* L. (LAVRES JUNIOR et al., 2009). O Mg é faz parte da estrutura da clorofila, juntamente com N e outros elementos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A clorose internerval é um sintoma característico da deficiência de Mg, ocorrendo primeiro nas folhas mais velhas devido à sua mobilidade (MARSCHNER, 2012). Esse padrão de clorose ocorre porque a clorofila nas nervuras permanece inalterada por longos períodos em comparação com a clorofila nas células entre as nervuras (VITTI et al., 2006).

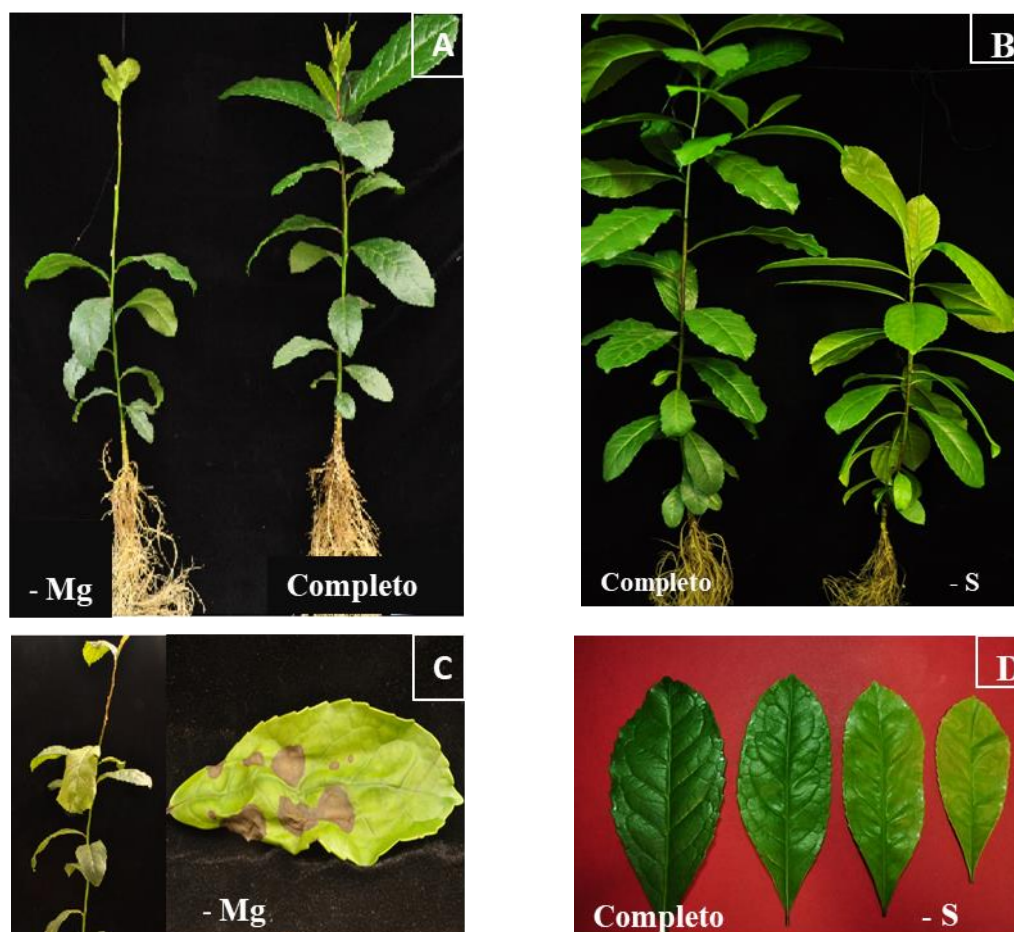


Figura 3 - Sintomas de deficiência de Mg em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (A e C); sintomas de deficiência de S em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (B e D).

As mudas de erva-mate cultivada sob omissão de enxofre apresentaram os sintomas de deficiência nas folhas mais novas, onde estas exibiram inicialmente coloração verde clara, evoluindo para clorose em todo o limbo foliar e paralisação do crescimento (Figuras 3B e 3D). O sintoma de deficiência em S em erva-mate seguiu o padrão descrito para a maioria das culturas.

A deficiência em S pode causar danos aos cloroplastos, iniciando-se com uma redução na síntese de proteínas com base em aminoácidos que contém enxofre, o que leva ao acúmulo de grânulos de amido (HANEKLAUS et al., 2006; MALAVOLTA e MORAES, 2007). Também, possui função no transporte de elétrons (TAIZ; ZEIGER, 2017) e apresenta pouca mobilidade, logo seus sintomas ocorrem nas folhas e nervuras mais jovens (MARSCHNER, 2012).

As mudas de erva-mate com sintomas de deficiência de B apresentaram uma coloração verde muito intensa das folhas mais velhas. Paulatinamente, a base da lâmina foliar (folhas mais novas) apresentou uma diminuição na espessura dos tecidos, o que, visualmente, dava uma espécie de clareamento. As folhas mais novas apresentaram aspecto flácido e com pontos necróticos. Com o agravamento da deficiência, houve morte dos pontos vegetativos apicais da planta e paralisação do crescimento (Figuras 4A e 4C).

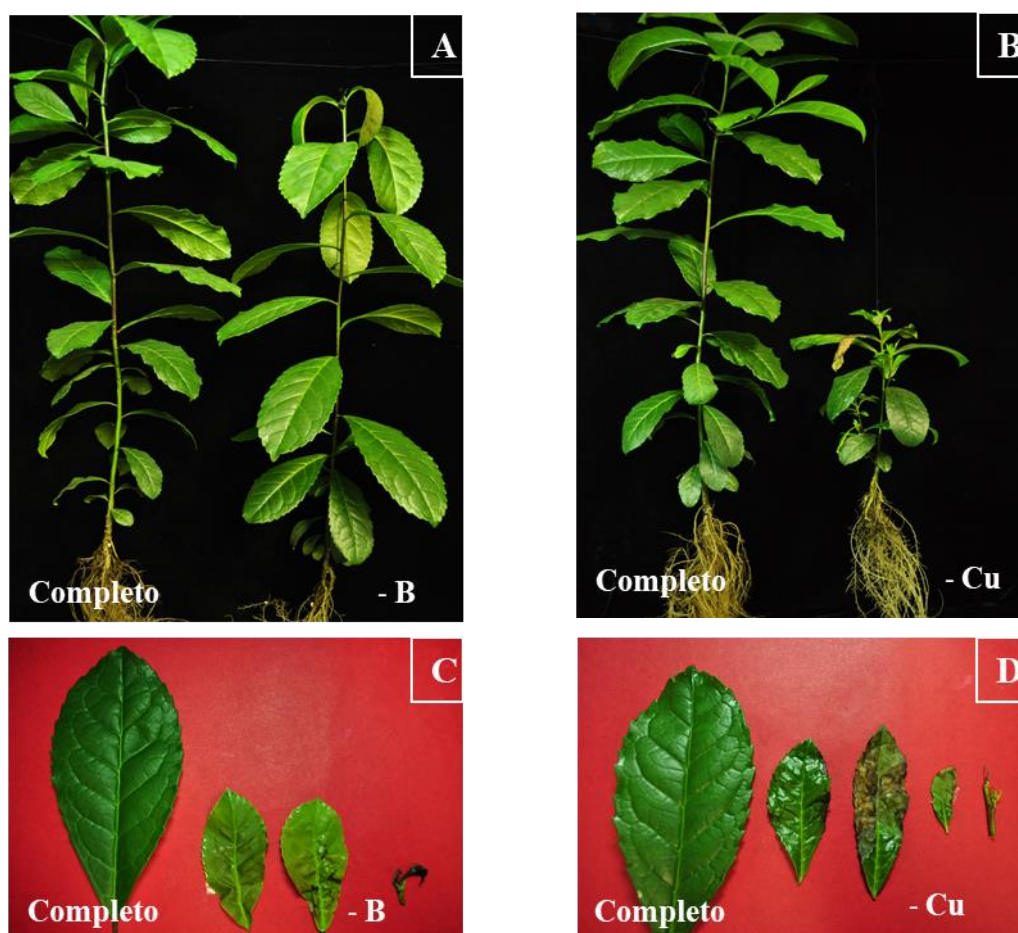


Figura 4 - Sintomas de deficiência de B em mudas/folhas/segmento apical de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (A e C); sintomas de deficiência de Cu em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (B e D).

Os sintomas de deficiência em B são mais evidentes nas folhas mais novas por ser um elemento pouco móvel no floema e pela sua importância na estabilidade da parede celular, no crescimento dos meristemas apicais e na permeabilidade das membranas celulares (FERREIRA, 2012). O enverdecimento mais acentuado observado nas folhas mais velhas no tratamento sob omissão de B deve-se ao fato desse elemento ter mais influência sobre o crescimento do que sobre a síntese de clorofila.

As plantas de erva-mate deficientes em Cu apresentaram redução no crescimento, entrenós curtos e gemas vegetativas axilares múltiplas (Figura 4 B), dando origem a brotações com folhas diminutas. As folhas do terço superior das mudas apresentaram leve encarquilhamento e necrose marginal, evoluindo em direção à nervura principal (Figura 4D).

A formação de gemas laterais múltiplas vem sendo descrito como um sintoma característico da deficiência de Cu para diversas culturas, a exemplo do umbuzeiro (NEVES et al., 2004).

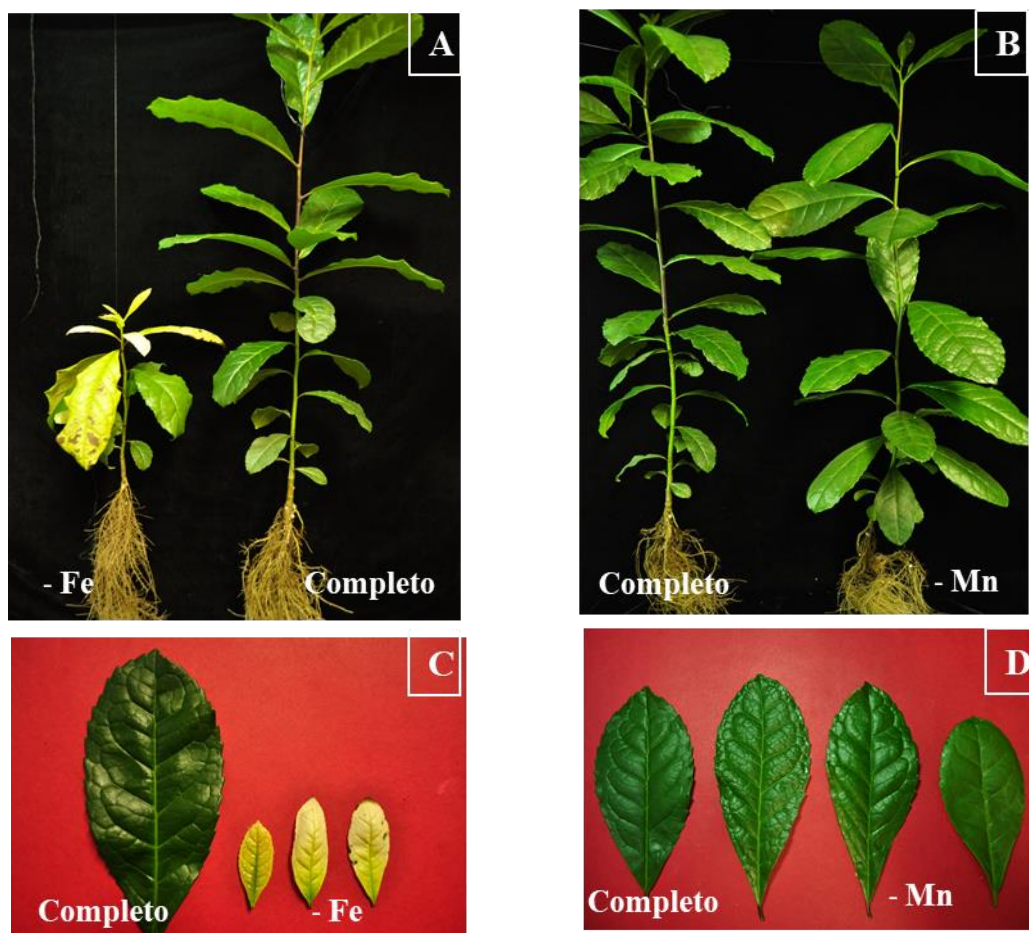


Figura 5 - Sintomas de deficiência de Fe em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (A e C); sintomas de deficiência de Mn em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (B e D).

A omissão de Fe causou alterações na coloração das folhas mais novas, que se tornaram diminutas e levemente cloróticas. Com o agravamento da deficiência e consequente queda dos níveis de clorofila, as folhas tornaram-se totalmente cloróticas e, em seguida, esbranquiçadas, retardando o crescimento das plantas Figuras 5A e 5B).

O Fe foi o primeiro micronutriente a proporcionar a manifestação dos sintomas visuais nas mudas de erva-mate e, como é um elemento relativamente imóvel no floema, os seus sintomas de deficiência foram inicialmente percebidos nas folhas novas.

A deficiência de ferro altera a estrutura e a função do aparelho fotossintético das plantas superiores, reduzindo drasticamente o teor de clorofila (pigmentos verdes) nas folhas deficientes, dando espaço para a manifestação dos carotenoides (pigmentos amarelos) (FERRAREZI et al., 2007).

Os sintomas de deficiência do Mn, na fase inicial, foram menos evidentes, só podendo ser observados de forma leve nas folhas mais sombreadas. As plantas cultivadas sob omissão de Mn apresentaram, durante um determinado período, desenvolvimento aparentemente normal, com as folhas atingindo dimensões até mesmo maiores quando comparadas às das plantas do tratamento completo. Ao final do experimento foram observadas alterações anatômicas nas folhas mais jovens, que apresentaram esparsas áreas cloróticas adjacentes à nervura principal, formando um reticulado pouco intenso (Figuras 5B e 5D).

A ausência de Mn em plantas de mamoneira desencadeou a redução do crescimento e clorose internerval com aparecimento do reticulado grosso (SOUZA et al., 2015). O Mn está ligado à formação da clorofila e a maior parte do nutriente se encontra nos cloroplastos, participando de processos de transporte eletrônico na fase luminosa da fotossíntese e, sob omissão do mesmo, a estrutura dos cloroplastos é alterada (BROADLEY et al., 2012). Devido à variedade de processos metabólicos envolvendo o Mn é difícil definir as relações entre deficiência, efeitos fisiológicos e sintomas (SOUZA et al., 2015).

As plantas cultivadas sob omissão de Zn apresentaram diminuição no porte (Figura 6A). À princípio, as folhas mais novas apresentaram uma espécie de ‘desbotamento’ interneval, surgindo da base em direção ao ápice (Figura 6A e 6B). Com a intensificação da deficiência, as folhas tornaram-se coriáceas, encarquilhadas e com encurtamento das nervuras.

A deficiência de Zn compromete importantes eventos fisiológicos e, conseqüentemente, o crescimento e desenvolvimento da planta (OLIVEIRA et al., 2009). A deficiência de Zn leva a uma redução na atividade da enzima Cu/Zn superóxido desmutase (Cu/ZnSOD) favorecendo o incremento dos danos oxidativos, ocasionando a diminuição no teor de clorofila (MARSCHNER, 2012).

Os sintomas visuais de toxidez devido à aplicação de NaCl na solução de cultivo das mudas de erva-mate se caracterizaram por clorose marginal e apical das folhas (Figura 6D), que evoluiu para necrose no ápice e margens, inicialmente nas folhas mais velhas e posteriormente em todas as folhas (Figura 6D), desfolha e morte de plantas cultivadas na dose 40 mmol L⁻¹ de NaCl.

A redução ou inibição do crescimento das plantas pela salinidade tem sido atribuída ao efeito osmótico, associado à toxidez pela absorção excessiva de Na e Cl e ao desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção e distribuição dos nutrientes.

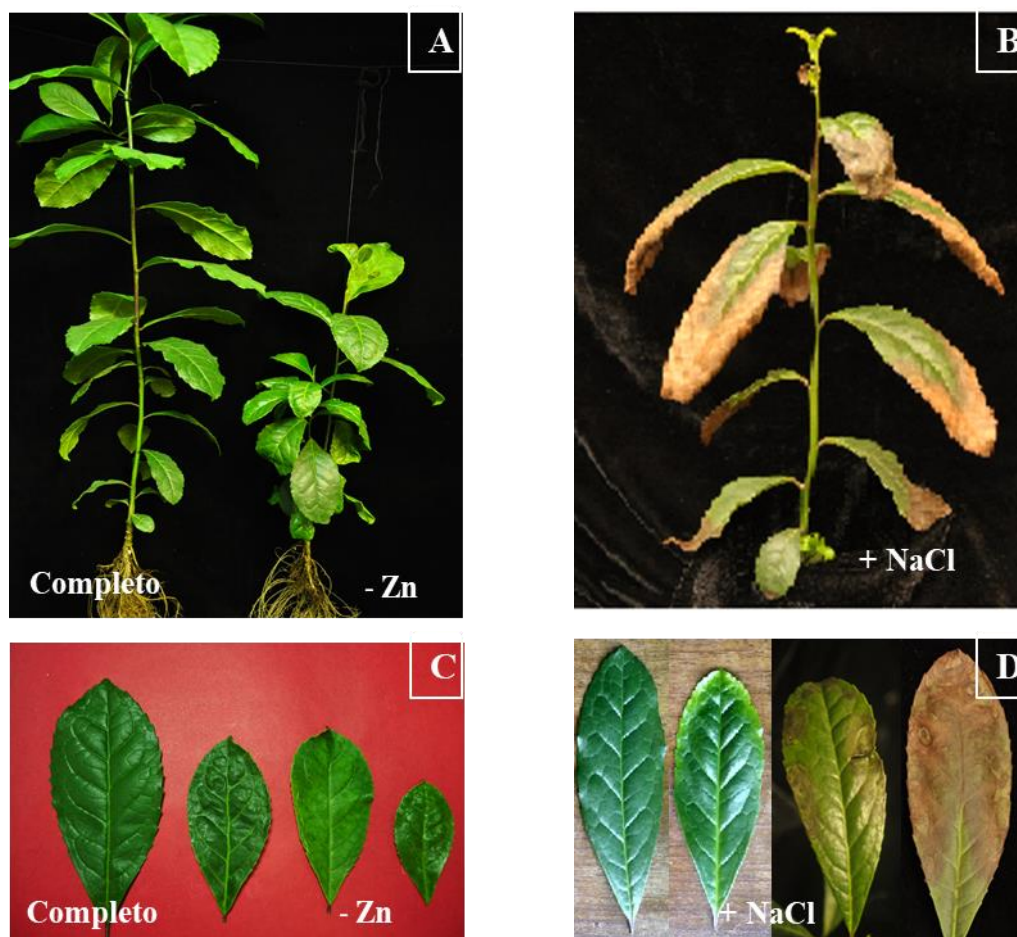


Figura 6 - Sintomas de deficiência de Zn em mudas/folhas de erva-mate comparadas com mudas/folhas sem deficiências nutricionais (A e C); sintomas toxidez por sódio em mudas (B) e folhas de erva-mate (D).

Conclusões

As mudas de erva-mate submetidas à omissão isolada dos macronutrientes, micronutrientes e adição de NaCl, expressaram alterações morfológicas que possibilitaram caracterizar os sintomas visuais da deficiência de cada nutriente e toxidez por sódio.

Em ordem cronológica, os aparecimentos dos sintomas visuais de deficiência para os macronutrientes foi: Mg → N → S → Ca → K → P. Para os micronutrientes a ordem foi: Fe → Cu → B → Mn → Zn.

Referências bibliográficas

BROADLEY, M.; BROWN, P.; CAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. **Function of nutrients: micronutrients**. In: MARSCHNER, P. (Ed.). Mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. London: Academic, p. 191-248, 2012.

CORCIOLI, G.; BORGES, J. D.; JESUS, R. P. Deficiência de macro e micronutrientes em mudas maduras de *Khaya ivorensis* estudadas em viveiro. **CERNE**, Lavras, v. 22, n.1, p. 121-128, 2016.

FASABI, J. A. V. **Carência de macro e micronutrientes em plantas de malva (*Urena lobata*), variedade BR-01**. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1996.

FERRAREZI, R. S.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R. SCHAMMASS, E. A. Iron sources for citrus rootstock development grown on pine bark/vermiculite mixed substrate. **Scientia Agricola**, v. 64, n.5, p. 520-531, 2007.

FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.

GONÇALVES, F. C.; NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G. Deficiência nutricional em mudas de umbuzeiro decorrente da omissão de macronutrientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.6, p. 1053-1057, 2006.

HANEKLAUS, S.; BLOEM, E.; SCHNUG, E. Disease control by sulphur induced resistance. **Aspects of Applied Biology**, 79, p. 221-224, 2006.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. University of California: Berkeley, 1950, 32p.

LAVRES JUNIOR, J.; NOGUEIRA, T. A. R.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Deficiências de macronutrientes no crescimento e na produção da mamoneira cultivar Iris. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 405-413, 2009.

LEITE, F. A. P.; WEBER, L. S. W.; SCARAMUZZA, J. F. Estudo comparativo de metodologias de preparo de soluções nutritivas no crescimento de mudas de paricá. **Ambiência**, v. 13, n. 2, p. 273-292, 2017.

MACHADO, D. L. M.; AGUILAR, A. S.; OLIVEIRA, R. C.; LIMA, D. T. Deficiência induzida de nitrogênio, fósforo e potássio em mudas de lulo. **Scientia Agraria**, Paraná., v. 15, n. 1, p. 76-81, 2016.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997, 319p.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F. **Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Org.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, p. 189-249, 2007.

MARINOS, N. G. Studies on submicroscopic aspects of mineral deficiencies. 1. Calcium deficiency in the shoot apex of barley. **American Journal of Botany**, v. 49, n. 8, p. 834-841, 1962.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3th ed. London: Academic Press, 2012.

NEVES, O. S. C.; SÁ, J. R.; CARVALHO, J. C. Crescimento e sintomas visuais de deficiências de micronutrientes em umbuzeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 306-309, 2004.

OLIVEIRA, R. H.; LIMA, M. J. S.; PEREIRA-JUNIOR, H. A.; REBOUÇAS, T. N. H.; MORAIS, O. M.; GUIMARÃES, B. V. C.; NOLASCO, C. A. Caracterização de sintomas visuais de deficiência de micronutrientes em tomateiro do grupo salada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, suplemento 1, p. 1093-1100, 2009.

RAMOS, M. J. M.; MONNERAT, P. H.; CARVALHO, A. J. V.; PINTO, J. L. A.; SILVA, J. A. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro 'imperial'. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 31, n. 1, p. 252-256, 2009.

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BASTOS, M. C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C. B.; BRONDANI, G. E.; BARROS, N. F. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 363-375, 2013.

SANTIN, B.; BENEDETTI, E. L.; BARROS, N. F.; FONTES, L. L.; ALMEIDA, I. C.; NEVES, J. C. L.; WENDLING, I. Manejo de colheita e adubação fosfatada na cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em fase de produção. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 783-797, 2017.

SILVEIRA, R. L. V. A.; MOREIRA, A.; TAKASHI, E. N.; SGARBI, F.; BRANCO, E. F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *eucalyptus urophylla*. **CERNE**, v. 8, n. 2, p. 107-116, 2002.

SINDIMATERS. SINDICATO DA INDÚSTRIA DO MATE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Dados estatísticos – erva mate. Porto Alegre, 2019. Disponível em: <<http://www.sindimaters.com.br/pagina.php?cont=estatisticas.php&sel=9>>. Acesso em 25 out. 2019.

SORREANO, M. C. M. **Avaliação da exigência nutricional na fase inicial de crescimento de espécies florestais nativas**. 296p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2006.

SORREANO, M. C. M.; MALAVOLTA, E.; SILVA, D. H.; CABRAL, C. P.; RODRIGUES, R. R. Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d'água (*Croton urucurana*, Baill.). **CERNE**, v. 17, n. 3, p. 347-352, 2011.

SOUZA, G. A.; PINHO, P. J.; BASTOS, A. R. R.; BOTREL, E. P.; CARVALHO, J. G. Caracterização de sintomas, índices biométricos e teores de nutrientes em mamoneira sob deficiência de micronutrientes. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 100-108, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. Omissão de macronutrientes no crescimento inicial de *Tabebuia ochracea*. **Ambiência**, v. 12, n. 4, p. 869-883, 2016.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 299-325, 2006.

ZANCHETT, C. S.; MIGNONI, M. L.; BARRO, N. P. R.; ROSA, C. D. Desenvolvimento de chocolate branco com extrato de erva-mate. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 19, e2015073, 2016.

Recebido em 11 de maio de 2020
Retornado para ajustes em 26 de junho de 2020
Recebido com ajustes em 27 de junho de 2020
Aceito em 30 de junho de 2020