

GRACIELLA CORCIOLI

**INDUÇÃO DE DEFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS EM
MUDAS DE MOGNO AFRICANO
(*Khaya ivorensis* A. Chev.)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:

Prof. Dr. Jácomo Divino Borges

Co-orientadores:

Dra. Elainy Botelho Carvalho Pereira

Dr. Ailton Vitor Pereira

Goiânia, GO - Brasil

2013

GRACIELLA CORCIOLI

TÍTULO: “Deficiências nutricionais em mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)”.

Tese DEFENDIDA e APROVADA em 8 de março de 2013, pela
Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof^a Dr^a Eliana Paula Fernandes Brasil
EA/UFG

Prof. Dr. Emiliano Lôbo de Godoi
EEC/UFG

Dr^a Jales Teixeira Chaves Filho
PUC-Goiás/UEG

Dr. Ailton Vitor Pereira
EMBRAPA-EN/GOIÂNIA

Prof. Dr. Jácomo Divino Borges
Presidente da Banca Examinadora - EA/UFG

Goiânia - Goiás
Brasil

Aos meus dois amores:

Cris e Luiza

AGRADECIMENTOS

À minha pequena Luiza, por ter contribuído com sua serenidade principalmente na etapa final de conclusão do trabalho.

À grande Ana Giullia e à pequena Alice, pela alegria que proporcionam.

Aos meus pais, irmãs, sogros, cunhados e sobrinhos, especialmente à Gisella que “pôs a mão na massa”.

À minha “segunda mãe” Maria José (*in memoriam*), por ter sido fundamental na minha formação como pessoa.

Ao amigo Hildo Viana, por contribuir com seus conselhos em momentos bastante oportunos.

Ao amigo e professor Jácomo Divino Borges que por quatro anos se fez presente como orientador.

Aos colegas de pós-graduação, especialmente à Roberta Paula.

Aos professores da Escola de Agronomia, especialmente à Prof^a Eliana Paula Fernandes Brasil.

Aos funcionários da Escola de Agronomia, particularmente ao Técnico Carlos Antônio, do Laboratório de Análise de Solo e Foliar.

À Universidade Federal de Goiás e, em especial, à Escola de Agronomia.

Ao casal de pesquisadores Dr^a Elainy Botelho Carvalho Pereira e Dr. Ailton Vitor Pereira, pelo apoio nesse trabalho e pelo comprometimento com o progresso da ciência.

Ao Viveiro Mudas Nobres e seus colaboradores, distinguindo a Eng^a Agr^a Camila Magna Ferreira, pelo apoio na implantação e condução dos experimentos.

Em especial, aos amigos e proprietários do Viveiro Mudas Nobres, Canrobert Tormin e João Augusto da Silva, pelo total apoio e incentivo durante a preparação e realização dos experimentos, pelos investimentos financeiros aplicados em pesquisa científica e por contribuírem de maneira tão eficaz no desenvolvimento da Silvicultura Brasileira.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS	9
RESUMO	13
ABSTRACT	15
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 CULTURA DO MOGNO	20
2.1.1 Espécie <i>Khaya ivorensis</i>	22
2.1.1.1 Características botânicas	23
2.1.1.2 Características madeireiras	25
2.2 NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS	27
2.2.1 Nitrogênio	29
2.2.2 Fósforo	30
2.2.3 Potássio	31
2.2.4 Cálcio	33
2.2.5 Magnésio	34
2.2.6 Enxofre	36
2.2.7 Ferro	38
2.2.8 Boro	39
2.2.9 Cobre	42
2.2.10 Manganês	43
2.2.11 Zinco	46
2.2.12 Molibdênio	48
2.3 DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS	50
2.3.1 Diagnóstico pelo método visual	51
2.3.2 Diagnóstico por meio da análise foliar ou química	54
3 MATERIAL E MÉTODOS	60
3.1 EXPERIMENTO 1: EFEITOS DA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE NUTRIENTES EM MUDAS DE <i>Khaya ivorensis</i> A PARTIR DA EMERGÊNCIA DAS PLÂNTULAS	60
3.1.1 Recipiente, substrato e estrutura física	60
3.1.2 Soluções nutritivas	61
3.1.3 Tratamentos	61
3.1.4 Características avaliadas	62
3.1.5 Delineamento experimental	63
3.2 EXPERIMENTO 2: EFEITOS DA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE <i>Khaya ivorensis</i> EM MUDAS MADURAS EM VIVEIRO	64

3.2.1	Mudas utilizadas	64
3.2.2	Recipiente, substrato e estrutura física	65
3.2.3	Soluções nutritivas	65
3.2.4	Tratamentos	65
3.2.5	Características avaliadas	66
3.2.6	Delineamento experimental	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1	EXPERIMENTO 1: SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM MUDAS DE <i>Khaya ivorensis</i> A PARTIR DA EMERGÊNCIA DAS PLÂNTULAS	68
4.1.1	Efeitos no desenvolvimento das plantas	68
4.1.2	Efeitos nos teores foliares dos nutrientes	72
4.1.3	Sintomas visuais das deficiências nutricionais	76
4.1.3.1	Nitrogênio	76
4.1.3.2	Fósforo	78
4.1.3.3	Potássio	80
4.1.3.4	Cálcio	82
4.1.3.5	Magnésio	84
4.1.3.6	Enxofre	85
4.1.3.7	Ferro	87
4.1.3.8	Boro	88
4.1.3.9	Cobre	90
4.1.3.10	Manganês	92
4.1.3.11	Zinco	93
4.1.3.12	Molibdênio	95
4.2	EXPERIMENTO 2: SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM MUDAS DE <i>Khaya ivorensis</i> ESTUDADOS A PARTIR DE MUDAS PRONTAS	97
4.2.1	Efeitos no desenvolvimento das plantas	97
4.2.2	Efeitos nos teores foliares dos nutrientes	102
4.2.3	Sintomas visuais das deficiências nutricionais	105
4.2.3.1	Nitrogênio	105
4.2.3.2	Fósforo	108
4.2.3.3	Potássio	109
4.2.3.4	Cálcio	111
4.2.3.5	Magnésio	112
4.2.3.6	Enxofre	114
4.2.3.7	Ferro	115
4.2.3.8	Boro	117
4.2.3.9	Cobre	119
4.2.3.10	Manganês	120
4.2.3.11	Zinco	121
4.2.3.12	Molibdênio	123
5	CONCLUSÕES	125
6	REFERÊNCIAS	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Valores de retratibilidade de madeiras de espécies dos gêneros <i>Swietenia</i> e <i>Khaya</i> (%)	26
Tabela 2.	Valores de cotas de resistência de madeiras de espécies dos gêneros <i>Swietenia</i> e <i>Khaya</i>	26
Tabela 3.	Chave geral para identificação dos sintomas de deficiência de nutrientes nas plantas	53
Tabela 4.	Teores totais de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para as principais essências florestais.....	59
Tabela 5.	Composição das soluções nutritivas, em ml.L ⁻¹ , utilizadas em mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) para a avaliação de deficiências nutricionais	62
Tabela 6.	Composição das soluções nutritivas, em ml.L ⁻¹ , utilizadas em mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) para a avaliação de deficiências nutricionais	66
Tabela 7.	Resumo das análises de variância para altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), índice de área foliar (IAF), comprimento da raiz (CR) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), das raízes (MSR) e total (MST) de mudas de <i>Khaya ivorensis</i> submetidas a diferentes tratamentos com presença e ausência de nutrientes na solução nutritiva, a partir dos 60 dias após a semeadura	68
Tabela 8.	Altura total, diâmetro do coleto, Índice de Área Foliar (IAF) e comprimento da raiz de plantas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) aos 210 dias após a semeadura, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Viveiro Mudas Nobres. Goiânia, GO. 2011	69
Tabela 9.	Matéria seca de folhas, caule, raiz e total de plantas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) aos 210 dias após a semeadura, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Viveiro Mudas Nobres. Goiânia, GO, 2011.....	71
Tabela 10.	Teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas de plantas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) cultivadas em solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011	73
Tabela 11.	Teores dos micronutrientes ferro, cobre, manganês e zinco nas folhas de plantas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) cultivadas em solução nutritiva com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.....	75
Tabela 12.	Teores foliares de nutrientes associados à sua presença ou ausência na solução nutritiva e em plantas normais ou deficientes de <i>Khaya ivorensis</i> avaliadas a partir dos 60 dias após a semeadura, no experimento 1.	97
Tabela 13.	Resumo das análises de variância para altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e total da parte aérea (MSPA) de mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos com presença e ausência de nutrientes na solução nutritiva, a partir dos 60 dias após a semeadura.	98

Tabela 14. Altura média e diâmetro médio do coleto de plantas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>), aos 220 dias após o transplantio, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.	99
Tabela 15. Matéria seca das folhas, do caule e total da parte aérea de plantas de <i>Khaya ivorensis</i> , aos 220 dias após o transplantio, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.	100
Tabela 16. Teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas de plantas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) cultivadas em solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.	102
Tabela 17. Teores dos micronutrientes ferro, cobre, manganês e zinco nas folhas de plantas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) cultivadas em solução nutritiva com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Representação geral da relação entre teor foliar e produção (ou matéria seca)	55
Figura 2.	Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de nitrogênio e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de nitrogênio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas Completa, com omissão de nitrogênio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio. Goiânia-GO, 2011	77
Figura 3.	Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de fósforo e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com omissão de fósforo; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de fósforo e Testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo. Goiânia-GO, 2011	79
Figura 4.	Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de potássio e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de potássio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de potássio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de potássio. Goiânia-GO, 2011	81
Figura 5.	Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cálcio e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de cálcio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cálcio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio. Goiânia-GO, 2011	83
Figura 6.	Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos. A-Folhas adultas e jovens de plantas tratadas com soluções nutritivas completa, com omissão de magnésio e testemunha, respectivamente. B-Aspecto das raízes de plantas tratadas com omissão de magnésio. C-Aspecto geral de plantas tratadas com soluções nutritivas completa, com omissão de magnésio e testemunha, respectivamente. D-Aspecto da parte aérea de plantas tratadas com solução nutritiva com omissão de magnésio. Goiânia-GO, 2011	84
Figura 7.	Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de enxofre; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de enxofre e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre. Goiânia-GO, 2011	86

- Figura 8.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de ferro e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de ferro; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de ferro testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro. Goiânia-GO, 2011. 87
- Figura 9.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de boro e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de boro; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de boro e testemunha; D) aspecto da parte aérea e das raízes de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de boro. Goiânia-GO, 2011 89
- Figura 10.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cobre e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de cobre; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cobre e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cobre. Goiânia-GO, 2011 91
- Figura 11.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de manganês e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de manganês; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de manganês e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas com solução nutritiva com omissão de manganês. Goiânia-GO, 2011 92
- Figura 12.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de zinco e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de zinco; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de zinco e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de zinco. Goiânia-GO, 2011 94
- Figura 13.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de molibdênio e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de molibdênio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de molibdênio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de molibdênio. Goiânia-GO, 2011 96
- Figura 14.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) Folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de nitrogênio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio. Goiânia-GO, 2011 106

- Figura 15.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de fósforo e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo. Goiânia-GO, 2011 108
- Figura 16.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de potássio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de potássio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de potássio; D) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de potássio. Goiânia-GO, 2011 110
- Figura 17.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cálcio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio. Goiânia-GO, 2011 112
- Figura 18.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de magnésio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de magnésio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de magnésio; D) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de magnésio. Goiânia-GO, 2011 113
- Figura 19.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de enxofre e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre. Goiânia-GO, 2011 115
- Figura 20.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de ferro e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro. Goiânia-GO, 2011. 116
- Figura 21.** Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de boro e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de boro; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de boro; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de

boro. Goiânia-GO, 2011	118
Figura 22. Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cobre e testemunha; B) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cobre. Goiânia-GO, 2011....	119
Figura 23. Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de manganês e testemunha; B) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de manganês. Goiânia-GO, 2011.	120
Figura 24. Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas s com soluções nutritivas completa, com omissão de zinco e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de zinco; C) folha jovem de planta supridas com solução nutritiva com omissão de zinco; D) folha jovem de planta suprida com solução nutritiva com omissão de zinco. Goiânia-GO, 2011.	122
Figura 25. Mudas de mogno africano (<i>Khaya ivorensis</i>) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de molibdênio e testemunha; B) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de molibdênio; C) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de molibdênio; D) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de molibdênio. Goiânia-GO, 2011.	123

RESUMO

CORCIOLI, G. **Indução de deficiências nutricionais em mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.).** 2013. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013¹.

O mogno africano (*Khaya ivorensis*) é uma essência florestal de alto valor no comércio internacional e de grande potencial para substituir o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), que é uma das espécies de maior valor comercial do mundo, mas apresenta sérias dificuldades em seu cultivo. Atualmente, pouco se conhece a respeito das exigências nutricionais do mogno africano. Nesse sentido, o presente trabalho teve o objetivo de induzir e caracterizar os sintomas de deficiências de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (ferro, boro, cobre, manganês, zinco e molibdênio), através do diagnóstico pelo método visual e por meio de análise química em mudas de mogno africano. Para isso, realizaram-se dois experimentos com solução nutritiva, com os seguintes tratamentos: T1-Solução completa; T2-Solução completa, com omissão de nitrogênio; T3-Solução completa, com omissão de fósforo; T4-Solução completa, com omissão de potássio; T5-Solução completa, com omissão de cálcio; T6-Solução completa, com omissão de magnésio; T7-Solução completa, com omissão de enxofre; T8-Solução completa, com omissão de ferro; T9-Solução completa, com omissão de boro; T10-Solução completa, com omissão de cobre; T11-Solução completa, com omissão de manganês; T12-Solução completa, com omissão de zinco; T13-Solução completa, com omissão de molibdênio e T14-testemunha (água deionizada). No Experimento 1 as avaliações foram realizadas a partir da emergência das plântulas obtidas de sementes, que foram colocadas para germinar em areia grossa lavada e irrigadas com água deionizada até os sessenta dias após a semeadura, quando passaram a receber 200 ml de solução nutritiva diariamente. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatorze tratamentos e dez repetições. Os dados dendrológicos e os sintomas visuais foram descritos e fotografados a cada quinze dias desde o estágio inicial até tornarem-se bem definidos, aos 210 dias. No Experimento 2 as avaliações foram realizadas a partir de mudas comerciais prontas para o plantio no campo, retiradas dos tubetes de 180 cm³ e transferidas para tubetes com capacidade para 4,8 L, contendo como substrato areia grossa lavada. Essas mudas permaneceram em casa de vegetação por quinze dias, sendo irrigadas apenas com água deionizada. Após esse período iniciou-se o processo de rustificação das mudas para, posteriormente, iniciar-se a irrigação diária com 200 ml de solução nutritiva, descritas para o Experimento 1. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatorze tratamentos e dez repetições. Os dados dendrológicos e os sintomas visuais foram descritos e fotografados a cada quinze dias desde o estágio inicial até tornarem-se bem definidos, aos 220 dias. Aos quarenta dias após o início da irrigação com as soluções nutritivas, os primeiros sintomas visuais começam a se evidenciar, sendo de fácil visualização e caracterização. No Experimento 1 as omissões isoladas dos macronutrientes e micronutrientes induzem respectivos sintomas visuais de deficiência associados a menores teores foliares (exceto de Mg e Cu), mas somente as ausências de N,

¹Orientador: Prof. Dr. Jácomo Divino Borges. EA-UFG.

Co-orientadores: Dra. Elaine Botelho Carvalho Pereira. SEAGRI-GO.

Dr. Ailton Vitor Pereira. Embrapa-EN/GO.

P, Fe, B e Cu afetam significativamente o desenvolvimento das plantas. No Experimento 2 as plantas oriundas de mudas prontas para o plantio tem o desenvolvimento afetado apenas pela omissão de N na solução nutritiva, exibindo sintomas visuais de deficiência e menores teores foliares do elemento. As omissões dos demais nutrientes chegam a induzir sintomas leves de deficiência nutricional característicos e menores teores foliares apenas de Ca e Fe.

Palavras-chave: Macronutrientes, micronutrientes, solução nutritiva, essências florestais.

ABSTRACT

CORCIOLI, G. **Induction of nutritional deficiencies in seedlings of african mahogany (*Khaya ivorensis* A. Chev.).** 2013. 131 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy: Plant Production) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013².

The african mahogany (*Khaya ivorensis*) is a high value forest essence in the international trade and of great potential to replace the Brazilian mahogany (*Swietenia macrophylla*), which is one of the most valuable commercial species in the world, but presents serious difficulties in its cultivation. Currently, little is known about the nutritional requirements of the african mahogany. In this sense, this study aimed to characterize and induce the symptoms of the deficiencies of macro nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur) and micro nutrients (iron, boron, copper, manganese, molybdenum and zinc) based on the diagnosis by the visual method and by means of chemical analysis on seedlings of african mahogany. In order to do that, two experiments were conducted with a nutritive solution with the following treatments: T1-Complete Solution; T2-Complete solution, with the omission of nitrogen; T3-complete solution, with the omission of phosphorus; T4-complete solution, with the omission of potassium, T5-complete solution, with the omission of calcium; T6-complete solution, with the omission of magnesium-T7 complete solution, with the omission of sulfur; T8-complete solution, with the omission of iron; T9-complete solution, with the omission of boron, T10-complete solution, with the omission of copper; T11-complete solution, with the omission of manganese; T12-complete solution, with the omission of zinc; T13-complete solution, with the omission of molybdenum and T14-Witness (deionized water). In Experiment 1 the evaluations were carried from the emergence of seedlings obtained by seed that were put to germinate in coarse washed sand and irrigated with deionized water until sixty days after sowing, starting then to receive daily 200 ml of nutrient solution. The experimental design used was completely randomized with fourteen treatments and ten replications. The dendrological data and the visual symptoms were described and photographed every fifteen days from the initial stage until they became well defined at 210 days. In Experiment 2 the evaluations were carried from commercial seedlings ready for the field planting, which were removed from the 180 cm³ tubes and transferred to the plastic tubes with capacity for 4.8 L, containing coarse washed sand as substrate. These seedlings remained in the greenhouse for fifteen days, just being irrigated with deionized water. After this period the process of rustification of the seedlings was begun to subsequently start up the daily irrigation with 200 ml of nutrient solution, described in the Experiment 1. The experimental design used was completely randomized with fourteen treatments and ten replications. The dendrological data and the visual symptoms were described and photographed every fifteen days from the initial stage until they became well defined, at 220 days. At forty days after the start of the irrigation with nutrient solutions,

²Adviser: Prof. Dr. Jácomo Divino Borges. EA-UFG.

Co-advisers: Dra. Elaine Botelho Carvalho Pereira. SEAGRI-GO.

Dr. Ailton Vitor Pereira. Embrapa-EN/GO.

the first visual symptoms begin to reveal, with easy visualization and characterization. In Experiment 1 isolated omissions of macronutrients and micronutrients respective induces deficiency symptoms associated with smaller contents (except Cu and Mg), but only the absence of N, P, Fe, Cu and B significantly affect plant development. In Experiment 2 the plants from seedlings ready for planting the development is affected only by the omission of N in the nutrient solution, showing deficiency symptoms and smaller contents of the element. The omissions of the other nutrients reaches their induce mild symptoms of nutritional deficiency typical and lower foliar Ca and Fe only.

Keywords: Macronutrients, micronutrients, nutrient solution, forest species.

1 INTRODUÇÃO

Em épocas passadas, as florestas cobriam áreas de terra muito maiores que atualmente, e a destruição das florestas foi e tem sido motivada, na maioria das vezes, pelo desejo do homem em desbravar áreas para produção de alimentos e fibras. Com o avanço da civilização e com o aumento da população humana, certas regiões florestais se tornaram mais e mais vulneráveis (Taylor, 1969).

O uso da madeira pelo homem é muito antigo. Historicamente, encontram-se relatos bíblicos que atribuem grandes feitos à utilização da madeira. A arca de Noé, a Arca da Aliança, a Cruz utilizada no martírio e crucificação de Cristo, o Templo de Salomão, entre outros, foram construídos de madeira (Paula & Alves, 1997).

De acordo com Taylor (1969), os benefícios diretos e indiretos das florestas decorrem dos produtos que elas podem oferecer. Como benefício direto, destaca-se a oferta de materiais como lenha e madeira, além de outros produtos vegetais não madeireiros, animais e minerais, provenientes da floresta, como látex, goma arábica, substâncias corantes e medicinais, frutos, cogumelos, detritos, fibras, entre outros. Os benefícios indiretos são decorrentes da melhoria do clima, proteção da fauna, controle de erosão, entre outros.

A crescente escassez de madeiras nativas e sua conseqüente valorização, além da atual conscientização da população quanto à preservação do meio ambiente, conforme Perez & Bacha (2007), estimularam o desenvolvimento de tecnologias que viabilizassem o uso de outras espécies, principalmente, aquelas oriundas de reflorestamento.

Segundo Taylor (1969), pode-se afirmar que, em muitas regiões tropicais e subtropicais, maior atenção tem sido dada e melhores resultados têm sido alcançados através de métodos de regeneração artificial. Outra razão para o crescimento dos métodos artificiais de regeneração de florestas é a tentativa de introduzir espécies exóticas em regiões tropicais e subtropicais. Assim, foram estabelecidas plantações de teca (*Tectona grandis* L.), *Azadirachta indica*, *Cassia siamea* e *Gmelina arborea* em regiões da Índia, Burma e Tailândia; espécies de *Acacia* e de *Eucalyptus* na Austrália, e de coníferas, como *Cupressus* e *Pinus* no sul e leste da África.

O Brasil, por sua posição geográfica privilegiada, inserido na América Tropical - América do Sul, conforme Paula & Alves (1997), possui a maior área florestal heterogênea conhecida do globo terrestre: são milhares de espécies arbóreas, cujas madeiras são tão diversificadas quanto a heterogeneidade das florestas nativas, notadamente quanto à estrutura anatômica, propriedades físicas e químicas.

O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) é uma das espécies de maior valor comercial do mundo, devido à beleza e qualidade da madeira e, por isso, vem sendo explorada intensivamente nas últimas décadas (Grogan et al., 2002). No Brasil, assim como nos demais países da América Tropical, as tentativas de se cultivar mogno brasileiro para fins comerciais têm dado resultados negativos, devido à sua alta suscetibilidade ao ataque e danos provocados por *Hypsipyla grandella* (Zeller). Esse microlepidóptero ataca a brotação terminal da planta, causando a bifurcação do tronco e, conseqüentemente, a perda do valor comercial da madeira. Para viabilizar os plantios comerciais, tendo em vista a dificuldade e, ou, a ineficácia dos controles químico, biológico ou silvicultural de *H. grandella*, uma das alternativas é a utilização de meliáceas exóticas, como as espécies do gênero *Khaya*, conhecidas comumente por mogno africano que produzem madeira de ótima qualidade. Com isto, tem-se intensificado a introdução de espécies desse gênero em substituição ao mogno brasileiro, já que elas vêm se mostrando resistentes ao ataque de *H. grandella* (Silva et al., 2004).

Segundo Falesi & Baena (1999), o mogno africano (*K. ivorensis*) tem sido uma das espécies preferidas pelos reflorestadores no estado do Pará. É uma árvore de grande importância devido ao seu alto valor no comércio internacional e crescimento relativamente rápido, promovendo a recuperação de áreas alteradas, além de oferecer resistência a algumas pragas, como a broca do ponteiro (*H. grandella*) (Lemmens, 2008; Verzignassi et al., 2009).

O crescimento e o desenvolvimento de espécies florestais, assim como o de outras plantas, dependem, além de outros fatores como luz, água e gás carbônico, de um suprimento adequado de sais minerais. Os minerais, embora requeridos em pequenas quantidades, são de fundamental importância para o desempenho das principais funções metabólicas da célula (Malavolta et al., 1997).

Considerando o que foi exposto, o presente trabalho teve como objetivo estudar os aspectos relacionados à nutrição mineral em mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*), caracterizando os sintomas de deficiência nutricional dos macronutrientes

nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; e dos micronutrientes: ferro, boro, cobre, manganês, zinco e molibdênio, em mudas avaliadas a partir da emergência e em mudas prontas para serem plantadas no campo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO MOGNO

Com a denominação de mogno, encontra-se no mercado uma centena de madeiras pertencentes às mais diversas famílias e gêneros, provenientes da África, Austrália e Sudeste Asiático. Essa homonimidade se justifica pela coloração semelhante apresentada pelas diversas espécies. No entanto, essas madeiras são profundamente diferentes no que tange à aparência, à estrutura e à resistência mecânica (Pinheiro et al., 2011). Para Pinheiro (1986), a família Meliaceae compreende 51 gêneros que abrangem, aproximadamente, 1.400 espécies, dentre elas existem várias espécies vulgarmente chamadas de mogno.

A família Meliaceae é composta de várias árvores tropicais de elevado valor comercial, destacando-se as espécies mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), cedro vermelho (*Cedrela odorata*), cedro australiano (*Toona ciliata*), andiroba (*Carapa guianensis*) (Berti Filho, 1973) e as diversas espécies do gênero *Khaya* (*K. ivorensis*, *K. senegalensis*, *K. grandifoliola*, *K. anthoteca* e *K. madagascariensis*) (Lamprecht, 1990).

A taxonomia da família Meliaceae ainda não é satisfatoriamente definida, apesar de sua grande importância (Rodan et al., 1992). A preferência pelas meliáceas decorre, sobretudo, do valor comercial da sua madeira que apresenta coloração avermelhada, ampla variação na aparência e nas propriedades físicas (Oliveira, 1994), durabilidade, estabilidade dimensional e facilidade no manuseio em carpintarias (Rodan et al., 1992). Devido a esta trabalhabilidade e a durabilidade (altamente resistente ao ataque de fungos e insetos), a madeira do mogno é bastante utilizada em revestimentos internos, para fabricação de móveis, painéis, objetos de adornos, dentre outros usos (Paula & Alves, 1997; Sudam, 1979).

Diversas essências florestais dicotiledôneas, de acordo com Costa (2001), são consagradas no mercado madeireiro do Brasil, principalmente mogno brasileiro (*S. macrophylla*), cedro (*Cedrella fissilis*), ipê-tabaco (*Tabebuia chrisotricha*), e, também pertence às dicotiledôneas, o gênero *Eucalyptus* com suas centenas de espécies. Originárias da Austrália, dezenas de espécies de *Eucalyptus* estão perfeitamente aclimatadas nas

regiões sul e sudeste do Brasil, com predominância de *E. grandis*, *E. saligna*, *E. citriodora*, *E. paniculata*, *E. tereticornis*, *E. dunii*, *E. microcorys*, *E. urophylla* e *E. deglupta*.

Entre as espécies exploradas em larga escala pelo setor madeireiro, e sob ameaça de extinção, encontra-se o mogno (*S. macrophylla*), conhecida também como aguana, araputango, cedro, mogno-brasileiro (Lorenzi, 1998; Sudam, 1979). A área de ocorrência natural do mogno se estende desde o México, passando pela costa atlântica da América Central, até um amplo arco do sul da Amazônia venezuelana, equatoriana, colombiana, peruana, boliviana e brasileira (Veríssimo & Grogam, 1998). Sua madeira pode ser utilizada para construções de mobiliário maciço e de luxo, folheado, rodapé, contraplacado e molduras, construção naval, painéis, pisos, marcenaria de interior e exterior, revestimento exterior, embarcações leves e artesanato. Árvore de porte alto, o mogno pode alcançar mais de 50 m de altura e seu tronco pode atingir até 3 m de diâmetro (Lorenzi, 1998).

O mogno brasileiro é uma das espécies de maior valor madeireiro do mundo. Em 2001, um metro cúbico de mogno serrado de qualidade superior era vendido por cerca de US\$ 1,200 (preço FOB - *Free on board*). Por causa dessa importância, o mogno tem sido intensamente extraído nas últimas décadas em sua área de ocorrência natural na América tropical, desde o México até o Brasil (Lugo, 1999; Snook, 1996; Veríssimo et al., 1995; Rodan et al., 1992). Entre 1971 e 2001, o Brasil exportou aproximadamente quatro milhões de metros cúbicos de mogno (*S. macrophylla*) serrado, sendo que cerca de 75% desse total de madeira foi exportada para os Estados Unidos e Inglaterra. A exploração total é estimada em 5,7 milhões de metros cúbicos serrados, e cerca de 1,7 milhão de metros cúbicos foi consumido no mercado nacional nesse período. O valor bruto estimado dessa produção, considerando um preço médio histórico de US\$ 700.00 o metro cúbico, seria cerca de US\$ 3.9 bilhões ($5,7 \text{ milhões de m}^3 \times \text{US\$ } 700.00 \text{ o m}^3$) (Perez & Bacha, 2007).

No Brasil, de acordo com Silva et al. (2004), assim como nos demais países da América tropical, as tentativas de cultivar mogno para fins comerciais têm dado resultados negativos, devido à alta suscetibilidade do mogno brasileiro ao ataque e danos provocados por *Hypsipyla grandella* (Zeller). Esse microlepidóptero ataca a brotação terminal da planta, causando a bifurcação do tronco e, conseqüentemente, a perda do valor comercial da madeira. Para viabilizar os plantios comerciais, tendo em vista a dificuldade e, ou, a ineficácia dos controles químico, biológico ou silvicultural de *H. grandella*, uma das

alternativas é a utilização de meliaceas exóticas, como as espécies do gênero *Khaya* que correspondem ao mogno africano que produz madeira de ótima qualidade. Com isto, tem-se intensificado a introdução de espécies desse gênero em substituição ao mogno brasileiro, já que elas veem se mostrando resistentes ao ataque de *H. grandella*.

2.1.1 Espécie *Khaya ivorensis*

Segundo Lemmens (2008), a espécie *Khaya ivorensis* (A. Chev) teve sua origem e distribuição a partir da Costa do Marfim e de Camarões, leste e sul de Cabinda (Angola) e, possivelmente, também ocorre na Guiné, Libéria, República Centro Africano e Congo. É uma espécie amplamente cultivada nas plantações dentro da sua área natural de distribuição, mas também na Ásia e América tropical. Ocorre desde 0 a 450 m de altitude, normalmente em vales úmidos, suportando inclusive inundações durante o período das chuvas. Entretanto, é muito sensível ao período de estiagem (Grogan et al., 2002,).

Na Malásia, a espécie *K. ivorensis* é uma das mais exóticas da África que têm alta adaptabilidade em florestas degradadas, por isso é recomendada para florestamento para atender às necessidades da indústria madeireira (Heryati et al., 2011).

O gênero *Khaya* compreende quatro espécies no continente africano e uma ou duas endêmicas nos Comores e Madagáscar. Pertence à subfamília Swietenioideae e parece mais intimamente relacionado com os gêneros *Carapa* e *Swietenia*. As espécies de *Khaya* fortemente se assemelham em flores e frutos, e as diferenças são mais proeminentes em seus folhetos. Parece haver uma transição mais ou menos gradual em espécies de acordo com gradientes ecológicos. Em zona de floresta úmida, são sempreverdes enquanto que em zona de savana são semidecíduas. Estudos sobre anatomia química e propriedades físicas da madeira confirmam a estreita relação das espécies de *Khaya*, com diferenças principais na relação ao lúmen/parede da fibra, raios percentuais multiseriados e densidade da madeira, que também poderia ser explicado, pelo menos em parte, pelas condições ecológicas (Lemmens, 2008).

Segundo Falesi & Baena (1999), o mogno africano (*K. ivorensis*) tem sido uma das espécies preferidas pelos reflorestadores no estado do Pará. É uma árvore de grande importância para a região amazônica, devido ao seu alto valor no comércio internacional e crescimento relativamente rápido, promovendo a recuperação de áreas alteradas, além de

oferecer resistência a algumas pragas, como a broca do ponteiro (*H. grandella*) (Verzignassi et al., 2009; Lemmens, 2008).

As espécies arbóreas exóticas mais requisitadas pelos pequenos produtores e empresários que desejam aumentar seus plantios florestais, de acordo com Sabogal (2006), são a teca (*Tectona grandis* L.) e o mogno-africano (*K. ivorensis*). Esse último por ser a madeira altamente valorizada para móveis, armários, caixas decorativas e folhas de madeira, e também é comumente usado para caixilhos de janelas, painéis, portas e escadas. É adequado para a construção leve, piso luz, construção naval, carrocerias, cabos, escadas, artigos esportivos, instrumentos musicais, brinquedos, equipamentos de precisão, tornearia escultura, e para fabricação de violões, por ser considerada de boas características acústicas. Tradicionalmente, a madeira é utilizada para canoas. Sua madeira também é utilizada como lenha e para a produção de carvão vegetal. A casca, de sabor amargo, é amplamente utilizada na medicina tradicional. A decocção da casca é usada para tratar tosse, febre e anemia, sendo aplicada externamente para o tratamento de feridas, úlceras e tumores, e como um paliativo para tratar dores reumáticas e lombalgia. Brotos e folhas jovens são aplicadas externamente como um anódino. As sementes são utilizadas na produção de sabão. Na Nigéria, as árvores de *K. ivorensis* são localmente mantidas em plantações de cacau para servir como árvores de sombra (Lemmens, 2008).

Segundo Lemmens (2008), uma árvore de floresta natural, com um diâmetro de tronco de 80 cm, produz, em média, 6,6 m³ de madeira, e uma árvore de 160 cm de diâmetro produz cerca de 17,9 m³. Em plantações com idade de 30 anos, na África Tropical, a produção anual de madeira é de 2 a 4 m³.ha⁻¹. Em solos de boa qualidade, na Costa do Marfim, um estande de 31 anos de idade, com 70 árvores por hectare (com média de 37 a 40 m de altura e 57 cm de diâmetro) produziu 8 m³.ha⁻¹.ano⁻¹.

2.1.1.1 Características botânicas

Como características botânicas *K. ivorensis* destaca-se por ser uma árvore muito grande, de até 60 m de altura, com fuste reto (de até 30 m) e cilíndrico com diâmetro à altura do peito (DAP) de até 210 cm, sempre verde ou decídua, monóica, casca marrom e superfície ligeiramente áspera, entrecasca rosa avermelhada; coroa maciça, arredondada; ramos glabros. As folhas são dispostas em espiral, mas agrupadas perto das extremidades dos ramos, são alternas, compostas, paripenadas, com pecíolos de 1 a 4 cm de

comprimento, ráquis de 6 a 20 cm de comprimento. Os folíolos são opostos, oblongos a oblongo-elípticos, de 5 a 14 cm de comprimento por 2 a 6 cm de largura, cuneados a obtusos e ligeiramente assimétricos na base, distintamente acuminados no ápice, margens inteiras, coriáceas, glabras, nervuras pinadas com cinco a dez pares de nervuras laterais (Lemmens, 2008).

Segundo Lemmens (2008), a inflorescência é do tipo panícula axilar de até 20 cm de comprimento. As flores são unissexuais, macho e fêmea muito semelhantes na aparência, esbranquiçadas, suavemente perfumadas, com pedicelo de 1 a 3 mm de comprimento, cálice lobado quase até a base, com lobos arredondados com cerca de 1 mm de comprimento, pétalas livres, elípticas, com cerca de 4 mm de comprimento por 2 mm de largura, estames fundidos em um tubo em forma de urna com cerca de 5 mm de comprimento, com dez anteras incluídas perto do ápice, alternando com lobos arredondados, disco em forma de almofada, ovário superior, globoso e cônico com 1 a 2 mm de diâmetro, pentalocular, estilete de até 1 mm de comprimento, estigma em forma de disco. As flores masculinas apresentam ovário rudimentar e as femininas anteras menores e indeiscentes. Os frutos são eretos, constituídos por cápsulas globosas com cerca de 5 a 7 cm de diâmetro, castanho-acinzentados, deiscentes por cinco válvulas, muitos semeados. As sementes apresentam forma de disco ou quadrangular, fortemente achatadas, de 2 a 2,5 cm de comprimento por 2,5 a 3,5 cm de largura, estreitamente aladas em torno da margem e de cor castanha. A germinação é hipógea com os cotilédones permanecendo fechados no tegumento da semente e epicótilo de 5 a 10 cm de comprimento.

A espécie é encontrada abundante em floresta sempre verde, mas também pode ser encontrada em floresta semi-decídua úmida, em áreas com precipitação anual de 1.600 a 2.500 mm e uma estação seca de dois a três meses, a até 700 m de altitude. Prefere solos aluviais que são úmidos, mas bem drenados, porém também pode ser encontrada em encostas sobre solos lateríticos. As sementes podem germinar a pleno sol, bem como na sombra, mas a regeneração natural é aparentemente escassa em grandes lacunas. Os rebentos podem sobreviver na sombra densa, mas para um bom crescimento a abertura do dossel da floresta é necessária. A temperatura e o teor de umidade ótimos para o armazenamento de sementes são de 3 °C e 6%, respectivamente. A germinação é um pouco lenta, ocorrendo de 11 a 40 dias. A taxa de germinação de sementes frescas e saudáveis é elevada, cerca de 100%, mas diminui rapidamente, e após três meses sua viabilidade é de apenas 5% (Lemmens, 2008).

2.1.1.2 Características madeireiras

Como características madeireiras, é preciso notar o mesmo paralelismo para as espécies do gênero *Swietenia* como para as espécies de *Khaya*. A madeira apresenta uma grande relação com as condições de crescimento das árvores, ou seja, as madeiras mais coloridas e mais densas são oriundas das estações mais secas suportadas pela espécie. Os mognos são, antes de tudo, madeiras para marcenaria que podem ser usadas como laminados ou de forma sólida. Nos laminados, a característica mais importante é a beleza da madeira – sua granulação, fibras, cor e figuras ou desenhos (Pinheiro et al., 2011).

As características mais interessantes para a madeira sólida, de acordo com Pinheiro et al. (2011), são a densidade e a dureza, sua retratibilidade e seu comportamento sob a influência das variações de umidade. Como os mognos também são utilizados em construções de pequenos barcos para mar e rios, embarcações leves de competição, entre outros, deve-se atentar, ainda, para o conhecimento da resistência mecânica, capacidade em reter pregos e parafusos, a permeabilidade e a resistência ao ataque de fungos.

As características de densidade e dureza estão intimamente correlacionadas, pois as amostras mais densas de uma espécie são também as mais duras. Essas madeiras oferecem as melhores resistências mecânicas e estáticas. O mogno brasileiro é mais leve e mais tenro. Sua densidade varia de 0,42 a 0,66 g.cm³. A espécie *K. ivorensis* apresenta uma madeira muito tenra ou tenra, muito leve ou leve e sua densidade varia de 0,46 a 0,55 g.cm³, com média de 0,488 g.cm³. Sua dureza varia de 1,3 a 2,2. A dureza é uma medida que segue o método de Chalet-Meudon e a densidade é sempre dada para madeiras com 12% de umidade (Pinheiro et al., 2011).

Quanto à retratibilidade, segundo Normand & Sallenave (1958), citados por Pinheiro et al. (2011), é importante frisar que todas as madeiras diminuem de volume quando perdem água, e incham caso sua umidade aumente. Esses fenômenos de retração e inchaço são muito variáveis, dependendo da espécie que originou a madeira. As melhores madeiras são as que têm o menor índice de retratibilidade. As espécies de *Khaya* têm uma retratibilidade volumétrica total muito próxima da de *S. macrophylla*. A espécie *K. ivorensis* tem retratibilidade compreendida entre 9,6 e 13,1%, com média de 11,1%, conforme descrito na Tabela 1.

Madeiras com maior densidade possuem resistência mecânica mais elevada, de acordo com Normand & Sallenave (1958), citados por Pinheiro et al. (2011), que

comparam os valores de cotas de resistência para algumas espécies de *Khaya* e *Swietenia* (Tabela 2).

Tabela 1. Valores de retratibilidade de madeiras de espécies dos gêneros *Swietenia* e *Khaya* (%).

Espécie/ Densidade (g.cm ³)	Retratibilidade tangencial total (Rt)			Retratibilidade radial total (Rr)			Relação média Rt/Rr
	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	
<i>Swietenia macrophylla</i> (0,42 a 0,66)	3,70	4,55	6,50	2,20	3,20	4,30	1,42
<i>Khaya ivorensis</i> (0,40 a 0,55)	5,70	5,95	6,40	3,10	3,30	3,50	1,81
<i>Khaya anthoteca</i> (0,43 a 0,57)	5,30	6,00	6,50	2,30	3,30	4,00	1,82
<i>Khaya grandifoliola</i> (0,62 a 0,67)	5,70	5,87	6,10	4,20	4,50	4,80	1,30
<i>Khaya senegalensis</i> (0,69 a 0,81)	4,50	6,76	7,50	4,20	5,30	6,30	1,27

Fonte: Normand & Sallenave (1958), citados por Pinheiro et al. (2011).

Tabela 2. Valores de cotas de resistência de madeiras de espécies dos gêneros *Swietenia* e *Khaya*.

Espécie	Compressão de fio			Flexão Cota de Flexão			Choque Cota dinâmica			Cota de rachadura		
	Cota Estática											
	C/100 D	F/100 D	K/D ²	Rachadura/100 D								
	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx	mín	méd	máx
<i>Swietenia mahogany</i>	7,7	7,8	8,0	17,5	18,7	20,4	0,47	0,62	0,92	0,20	0,24	0,27
<i>Swietenia macrophylla</i>	7,5	7,9	8,4	10,1	18,9	20,6	0,78	0,88	1,00	0,22	0,25	0,29
<i>Khaya ivorensis</i>	7,8	8,5	9,8	16,6	19,3	23,8	0,72	1,11	1,40	0,21	0,24	0,29
<i>Khaya anthoteca</i>	8,0	8,3	8,6	17,6	18,3	19,1	0,56	0,75	0,91	0,21	0,28	0,42
<i>Khaya grandifoliola</i>	7,9	8,6	9,1	16,7	19,5	22,9	0,82	0,87	1,04	0,14	0,25	0,35
<i>Khaya senegalensis</i>	5,8	7,0	8,1	15,8	16,7	18,5	0,46	0,60	1,02	0,14	0,25	0,35

Fonte: Normand & Sallenave (1958), citados por Pinheiro et al. (2011).

Segundo Pinheiro et al. (2011), por suas propriedades físicas (densidade, dureza, retratibilidade) e por suas propriedades mecânicas, os mognos formam um grupo homogêneo. Comparando as três espécies de mogno encontradas nos mercados americano e europeu (*S. macrophylla*, *K. ivorensis* e *K. anthoteca*), observa-se que elas são quase idênticas, ou seja,

apresentam madeira tenra e leve, boa resistência mecânica e estática e pouca resistência ao choque.

2.2 NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

O crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem, além de outros fatores como luz, água e gás carbônico, de um fluxo contínuo de sais minerais. Os minerais, embora requeridos em pequenas quantidades, são de fundamental importância para o desempenho das principais funções metabólicas da célula. O efeito benéfico da adição de elementos minerais no crescimento das plantas foi reconhecido há mais de dois mil anos. Contudo, Just von Liebig (1803-1873) foi o principal cientista de seu tempo a lançar as bases da disciplina de Nutrição Mineral, sua conclusão de que nitrogênio, enxofre, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, silício, sódio e ferro eram elementos essenciais, embora baseada apenas em observação e especulação sem precisa experimentação, provou ser bastante correta. Apenas o silício e o sódio não são considerados essenciais, embora o possam ser para algumas espécies. De qualquer modo, houve um despertar nas pesquisas nesta área no século XIX. Elas mostraram que as plantas tinham capacidade limitada de distinguir e, ou, selecionar dentre os minerais disponíveis na solução do solo aqueles que pouco representavam para o seu metabolismo ou que eram até menos tóxicas a elas. Então, a análise da planta não é suficiente para caracterizar um elemento como essencial, pois como descreveu Aristóteles: “as plantas não têm alma para pensar” e, portanto, absorvem do solo vários elementos, sejam eles essenciais, benéficos e tóxicos. Na planta são encontrados praticamente todos os elementos da tabela periódica, devido à absorção indiscriminada realizada por ela. Entretanto, poucos elementos têm importância na nutrição mineral das plantas (Malavolta et al., 1997).

Segundo Malavolta et al. (1997), para ser considerado essencial, o elemento precisa satisfazer a um dos dois critérios de essencialidade, sendo:

- Direto: o elemento participa de algum composto ou de alguma reação, sem o qual a planta não vive;
- Indireto: na ausência do elemento a planta não completa seu ciclo de vida; o elemento não pode ser substituído por nenhum outro; tem efeito direto na vida da planta, sua ação não consistindo da anulação de condições físicas, químicas ou biológicas desfavoráveis presentes no substrato.

Além dos macronutrientes orgânicos, carbono, hidrogênio e oxigênio, os quais constituem o maior peso da planta verde ou da sua matéria seca, são considerados macronutrientes essenciais o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, e como micronutrientes essenciais o boro, cloro, cobalto, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel, selênio, silício e zinco (Malavolta et al., 1997).

A definição de macronutrientes e micronutrientes baseia-se apenas na concentração em que o elemento aparece na matéria seca, a qual vai ser refletida nas quantidades exigidas, contidas, ou fornecidas no processo de formação da colheita. As quantidades de macronutrientes encontrados nas culturas geralmente vêm expressas em kg.ha^{-1} , enquanto que as quantidades de micronutrientes vêm expressas em g.ha^{-1} (Malavolta et al., 1997).

Os macronutrientes têm, em geral, seus teores expressos em gramas por quilograma (g.kg^{-1}) e os micronutrientes são expressos em miligrama por quilograma (mg.kg^{-1}), todos na forma elementar. A única distinção na classificação entre macronutrientes e micronutrientes é a concentração exigida pelas plantas. Os macronutrientes ocorrem em concentrações de 10 a 5.000 vezes superior às dos micronutrientes (Faquin, 2005).

De acordo com Faquin (2005), os elementos essenciais exercem funções específicas dentro da planta, embora em algumas delas possa haver, dependendo do elemento, um certo grau de substituição. Essas funções podem ser classificadas em três grandes grupos:

- Estrutural – o elemento faz parte da molécula de um ou mais compostos orgânicos;
- Constituinte de enzima – refere-se a elementos que fazem parte do grupo prostético de enzimas e que são essenciais às atividades das mesmas;
- Ativador enzimático – sem fazer parte do grupo prostético, o elemento, dissociável da fração protéica da enzima, é necessário à atividade da mesma.

A quantidade de nutrientes exigida, conforme Faquin (2005), é função dos seus teores no material vegetal e do total de matéria seca produzida. Como a concentração e a produção variam muito, as exigências minerais de diferentes espécies também o fazem. Observa-se, também, de modo geral, que as exigências totais obedecem à seguinte ordem decrescente: macronutrientes: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} = \text{S}$; micronutrientes: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu} > \text{Mo}$. As várias funções que um mesmo elemento pode desempenhar

correspondem a um ou mais processos vitais, como fotossíntese, respiração, síntese de amido ou de proteína, transferência dos caracteres hereditários, entre outras.

2.2.1 Nitrogênio

De maneira geral, o nitrogênio é o nutriente mineral mais exigido pelas plantas. A atmosfera, que possui aproximadamente 79% de N na forma de N_2 , principalmente, é a fonte natural do elemento para a biosfera. Mas, o N_2 é uma fonte natural gasosa e não diretamente aproveitado pelas plantas. Para isso, há a necessidade de uma transformação prévia para formas combinadas de amônio e nitrato. Os principais processos responsáveis pela fixação do N_2 atmosférico para formas combinadas são a fixação biológica, fixação industrial e fixação atmosférica (Faquin, 2005).

As plantas superiores, de acordo com Faquin (2005), são capazes de absorver o N de diferentes formas, como: N_2 , aminoácidos, uréia, NH_4^+ e NO_3^- . A fixação industrial trata-se da produção dos adubos nitrogenados industrialmente, a partir da quebra da molécula do nitrogênio (N_2) e produção da amônia (NH_3), produto chave para a obtenção dos adubos nitrogenados. A fixação biológica do Nitrogênio (FBN) consiste na conversão do N_2 atmosférico, para formas combinadas pela ação de microorganismos, e é o principal processo de adição do N_2 ao solo.

O nitrogênio é transportado no xilema e redistribuído principalmente no floema, em processos relativamente rápidos. Na planta, quase todo o N se encontra em formas orgânicas representadas, em maior proporção, por aminoácidos e proteínas (Malavolta et al., 1997). O N absorvido pelas raízes é transportado para a parte aérea da planta através dos vasos do xilema, via corrente transpiratória. A forma pela qual o N é transportado depende da forma em que foi absorvido, assimilado (incorporado a compostos orgânicos) nos tecidos das raízes e transportado como aminoácidos. O N é facilmente redistribuído nas plantas via floema, na forma de aminoácidos. Quando o suprimento de N pelo meio é insuficiente, o N das folhas velhas é mobilizado para os órgãos e folhas mais novas. Consequentemente, plantas deficientes em N mostram os sintomas primeiramente nas folhas velhas. A proteólise das proteínas nestas condições e a redistribuição dos aminoácidos resultam no colapso dos cloroplastos e assim ocorre um decréscimo no conteúdo de clorofila. Por esta razão, o amarelecimento das folhas velhas é o primeiro sintoma de uma inadequada nutrição da planta em nitrogênio (Faquin, 2005).

O nitrogênio desempenha função estrutural nos aminoácidos e proteínas, bases nitrogenadas e ácidos nucleicos, enzimas e coenzimas, vitaminas, glicoproteínas e lipoproteínas, pigmentos e produtos secundários, além de ser constituinte de todas as enzimas. Participa dos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses, multiplicação e diferenciação celular e herança genética (Malavolta et al., 1997).

Segundo Faquin (2005), cerca de 90% do N da planta encontram-se na forma orgânica e é assim que o N desempenha as suas funções, como componente estrutural de macromoléculas e constituinte de enzimas. Os “aminoácidos livres” dão origem a outros aminoácidos e às proteínas e, por consequência, às coenzimas; são precursores de hormônios vegetais - triptofano do AIA e metionina do etileno; núcleos porfirínicos - clorofila e citocromos; reserva de N nas sementes - asparagina, arginina; às “bases nitrogenadas” (púricas e pirimídicas), aos nucleosídeos; nucleosídeos e por polimerização destes ácidos nucleicos - DNA e RNA; ATP; coenzimas como o NAD (dinucleotídeo de nicotinamida e adenina) e o NADP (dinucleotídeo de nicotinamida adenina e fosfato).

Considerando a qualidade de colheita, o nitrogênio estimula a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas; estimula uma maior vegetação e perfilhamento; e aumenta o teor de proteína (Malavolta et al., 1997).

2.2.2 Fósforo

O fósforo é absorvido predominantemente na forma iônica H_2PO_4^- (Malavolta et al., 1997). Segundo Faquin (2005), o fósforo é, dos macronutrientes, um dos menos exigidos pelas plantas. Não obstante, trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Nas regiões tropicais e subtropicais, como acontece no Brasil, é o elemento cuja falta no solo mais frequentemente limita a produção, principalmente em culturas anuais: mais de 90% das análises de solo no Brasil mostram teores menores de P disponível. Além da carência generalizada de P nos solos brasileiros, o elemento apresenta forte interação com o solo (fixação), o que reduz a eficiência da adubação fosfatada.

A acumulação do P nas células corticais da raiz é seguida pela transferência até o xilema via simplasto (Malavolta et al., 1997). O P requerido para o ótimo crescimento das plantas varia, dependendo da espécie e do órgão analisado, de 0,1 a 0,5% na matéria seca. De maneira geral, sua exigência pelas plantas é menor que a de N, K, Ca e Mg, igualando-se à do S. O fosfato é bastante móvel na planta, sendo redistribuído com facilidade

pelo floema, na forma de fosforil colina. Quando as plantas estão adequadamente nutridas em P, de 85% a 95% do P inorgânico total da planta estão localizados nos vacúolos. Ocorrendo redução no suprimento de P para as plantas, este P sai do vacúolo e é redistribuído para os órgãos novos em crescimento. Dada a fácil redistribuição do fósforo na planta, os sintomas de deficiência manifestam-se, inicialmente, nas folhas mais velhas (Faquin, 2005).

O fósforo desempenha função estrutural nos ésteres de carboidratos, fosfolipídeos, coenzimas e ácidos nucleicos e participa dos processos de armazenamento e transferência de energia e fixação simbiótica de nitrogênio (Malavolta et al., 1997). De acordo com Faquin (2005), sintomas de deficiência devido aos papéis do P na vida da planta, participando da síntese e degradação de macromoléculas (amido, gorduras, proteínas) e de outros inúmeros processos metabólicos, a sua carência se reflete no menor crescimento das plantas. Como o P se redistribui facilmente na planta, os sintomas da deficiência, inicialmente, ocorrem nas folhas mais velhas. Estas podem mostrar uma cor amarelada, pouco brilho, cor verde-azulada; em algumas espécies pode ocorrer uma tonalidade arroxeada como, por exemplo, no milho.

Em se tratando de qualidade de colheita, o P acelera a formação de raízes; aumenta a frutificação; apressa a maturação dos frutos; aumenta o teor de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas (Malavolta et al., 1997).

2.2.3 Potássio

O requerimento de K^+ para o ótimo crescimento das plantas está entre 2 e 5%, aproximadamente, na matéria seca, variando em função da espécie e do órgão analisado. O potássio é o segundo nutriente mais exigido pelas plantas (o primeiro é o N). As plantas produtoras de amido, açúcar e fibras parecem ser particularmente exigentes em potássio (Faquin, 2005).

O potássio é absorvido pelas raízes na forma iônica K^+ e transportado via xilema e floema (Malavolta et al., 1997). De acordo com Faquin (2005), o potássio é bastante permeável nas membranas plasmáticas e isto o torna facilmente absorvido e transportado a longa distância pelo xilema e pelo floema. Grande parte do K total da planta (mais de 75%) está na forma solúvel, portanto, a sua redistribuição é bastante fácil no floema. Desta forma, sob condições de baixo suprimento de K pelo meio, o elemento é redistribuído das

folhas mais velhas para as mais novas e para as regiões em crescimento. Assim, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas velhas.

O K não faz parte de nenhum composto orgânico, portanto, não desempenha função estrutural na planta. A principal função bioquímica do K é a ativação enzimática. Mais de 50 enzimas são dependentes do K para sua atividade normal, citando-se as sintetases, oxiredutases, desidrogenases, transferases e quinases. Altas concentrações de K são necessárias para induzir as variações conformacionais e otimização do grau de hidratação da proteína enzimática e, portanto, máxima ativação enzimática (Faquin, 2005). O potássio é constituinte ou ativador das enzimas Quinase pirúvica; Sintetase de glutatione; Sintetase de succinil-CoA; Sintetase de glutamil-cisteína; Sintetase de NAD^+ ; Sintetase de formil tetraidrofolato; Desidratase de treonina; Aldolase de frutosedifosfato; Desidrogenase de aldeído; Sintetase de amido (Malavolta et al., 1997).

A nutrição potássica também está relacionada à regulação do potencial osmótico das células das plantas. A expansão celular e a abertura e fechamento dos estômatos dependem de um ótimo celular e, para isso, o K é indispensável (Faquin, 2005). Além de participar dos processos osmóticos, o K está diretamente relacionado à síntese de proteínas; fotossíntese; transporte de carboidratos e outros compostos; respiração; sínteses e fixação simbiótica de nitrogênio (Malavolta et al., 1997). A fotossíntese é afetada pela abertura e fechamento dos estômatos, faltando K^+ os estômatos não se abrem regularmente, há menor entrada de CO_2 e, portanto, menor intensidade fotossintética (Faquin, 2005).

Segundo Faquin (2005), em plantas deficientes em K, algumas mudanças químicas são observadas, incluindo a acumulação de carboidratos solúveis, decréscimo no nível de amido e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis. No metabolismo de carboidratos, enzimas como a 6-fosfofrutoquinase e a piruvatoquinase, que atuam na via glicolítica, apresentam um alto requerimento de K; a sintetase do amido é também altamente dependente de cátions monovalentes, dentre os quais o K é o mais eficiente.

No que diz respeito à qualidade de colheita, o K estimula a vegetação e o perfilhamento; aumenta o teor de carboidratos, óleos, gorduras e proteínas; estimula o enchimento de grãos; promove armazenamento de açúcar e amido; aumenta a utilização da água; aumenta a resistência a pragas e doenças, a seca e a geadas (Malavolta et al., 1997), pelos mesmos motivos acima discutidos - diminuição no potencial osmótico do suco celular e maior absorção de água (Faquin, 2005).

Segundo Faquim (2005), tem sido atribuído ao potássio um efeito indireto no acúmulo de putrescina em tecidos de plantas deficientes em K. A putrescina, composto fitotóxico na planta, tem origem em aminoácidos básicos (ornitina, citrulina e arginina). Em plantas deficientes em K, ocorre redução na síntese protéica e acúmulo dos aminoácidos básicos, levando a um grande aumento no teor de putrescina. Nas regiões lesadas (clorose e necrose), nas bordas e pontas das folhas mais velhas, sintoma típico de deficiência de K em plantas, ocorre um acúmulo de putrescina.

2.2.4 Cálcio

O Ca, no solo, tem sua origem primária nas rochas ígneas, estando contido em minerais como a dolomita, calcita, feldspatos, cálcicos e anfibólios, que ocorrem também em rochas sedimentares e metamórficas. Em solos ácidos das regiões úmidas, estes minerais são intemperizados e o cálcio, em parte, é perdido por lixiviação. O Ca que fica no solo encontra-se adsorvido nos colóides do solo ou componentes da matéria orgânica. Sob condições de solo com pH elevado, o Ca pode insolubilizar-se como carbonatos, fosfatos ou sulfatos. O Ca considerado disponível para as plantas é aquele adsorvido aos colóides (trocável) e presente na solução do solo (Ca^{2+}). Os teores de Ca^{2+} na solução de solos ácidos são bastante baixos (Faquin, 2005).

O cálcio é um nutriente exigido em quantidades muito variadas em diferentes culturas, variando, dentro de limites, de cerca de 10 até 200 kg ha^{-1} de Ca, sendo mais exigido pelas dicotiledôneas do que pelas monocotiledôneas. Os teores de Ca nos tecidos foliares também variam amplamente entre diferentes espécies, desde menos de 0,4 até cerca de 4%, para culturas normais. É absorvido pelas raízes como Ca^{2+} na solução do solo. A presença de outros cátions em altas concentrações, como o K^+ , Mg^{2+} e NH_4^+ , diminuem competitivamente a absorção do Ca^{2+} . O Ca é transportado unidirecionalmente pelo xilema, via corrente transpiratória, das raízes para a parte aérea. As reações de troca no xilema são muito importantes para o movimento ascendente do Ca na planta (Faquin, 2005).

Para Malavolta et al. (1997), o cálcio desempenha função estrutural no pectato (lamela média); carbonato; oxalato; fitato e calmodulinas. É constituinte ou ativador das enzimas ATPase (apirase); Alfa amilase; Fosfolipase D e Nucleases, além de participar dos processos de estrutura e funcionamento das membranas; absorção iônica; reações com hormônios vegetais e ativação enzimática (via calmodulina).

O Ca também é indispensável para a germinação do grão de pólen e para o crescimento do tubo polínico, o que pode ser devido ao seu papel na síntese da parede celular ou ao funcionamento da plasmalema. Na fixação biológica do N₂ por leguminosas, a nodulação das raízes necessita mais Ca que a própria planta; uma vez formados os nódulos, o processo de fixação e o crescimento da planta ocorrem normalmente em concentrações relativamente baixas do elemento (Faquin, 2005).

Os sintomas de deficiência de Ca, segundo Faquin (2005), se expressam nos pontos de crescimento da parte aérea e da raiz e em frutos em desenvolvimento. As regiões em maior expansão celular na planta são as mais afetadas pela deficiência de Ca. Os sintomas podem apresentar-se como deformações nas folhas novas, clorose ou queimadura de uma região limitada nas margens destas folhas, morte das gemas apicais e extremidade das raízes.

O cálcio é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e das paredes celulares. Quando há deficiência desse elemento, as membranas começam a vaziar, a compartimentação celular é rompida e a ligação do Ca com a pectina da parede celular é afetada. O pectato de cálcio da lamela média atua como cimento entre uma célula e outra, sendo depositado durante a citocinese. O cálcio tem muitos efeitos no crescimento e no desenvolvimento da planta: atrasa o amadurecimento, a senescência e a abscisão; melhora a qualidade dos frutos e das hortaliças, altera a resposta geotrópica, a fotossíntese e outros processos como divisão celular, movimentos citoplasmáticos e o aumento do volume celular. Várias desordens fisiológicas, como o “buraco amargo da maçã”, a podridão estilar ou fundo preto do tomate, o coração negro do tomate e o coração negro ôco da batata, estão relacionados com o baixo teor de Ca nesses tecidos (Malavolta et al., 1997).

Em se tratando da qualidade da colheita, de acordo com Malavolta et al. (2005), o cálcio estimula o desenvolvimento das raízes; aumenta a resistência a pragas e doenças; auxilia a fixação simbiótica de nitrogênio e o maior pegamento das floradas.

2.2.5 Magnésio

O magnésio, também tido com um macronutriente secundário, tem sua origem primária em rochas ígneas, e os principais minerais que o contêm são a biotita, dolomita, clorita, serpentina e olivina, componentes também de rochas metamórficas e sedimentares. O Mg faz parte da estrutura de minerais de argila, ocorrendo em ilita, vermiculita e

montmorilomita. Quanto mais intemperizado o solo, menor ocorrência destes minerais, até que reste somente o Mg trocável adsorvido aos colóides e componentes da matéria orgânica do solo. As formas trocável e na solução são as consideradas disponíveis às plantas (Faquin, 2005).

As exigências das culturas em magnésio, de acordo com Faquin (2005), são relativamente baixas, da ordem de 10 a 40 kg.ha⁻¹ para a maior parte dos casos; os teores nas folhas das plantas normais varia pouco entre as espécies, estando, em geral, na faixa de 0,2 a 0,4%. Como o magnésio não é um nutriente normalmente usado em adubações e sim nas calagens, não há muitos dados de respostas de culturas ao magnésio. Contudo, as deficiências têm ocorrido com certa frequência em solos ácidos, sendo agravados em culturas que recebem aplicações elevadas de potássio.

As plantas absorvem o magnésio da solução do solo na forma de Mg²⁺. Altas concentrações de Ca e, principalmente, de K⁺ no meio podem inibir competitivamente a absorção causando deficiência desse elemento (Faquin, 2005; Malavolta et al., 1997).

A deficiência de Mg induzida pelo excesso de K na adubação é bastante comum em culturas como a bananeira, cafeeiro (Faquin, 2005; Malavolta et al., 1997) e citros (Malavolta et al., 1997), muito exigentes em potássio, em que as fórmulas empregadas são muito ricas em K₂O. Na planta, a relação K/Mg varia entre 7 e 10. Se o teor absoluto de Mg for relativamente baixo, os sintomas de carência magnésiana poderão aparecer se o quociente for da ordem de 15-20. Quando no solo o Mg representar menos de 10% do total das bases trocáveis, e as condições são mais favoráveis ao aparecimento da deficiência induzida pelo excesso de K (Malavolta et al., 1997).

Em solos ácidos, além da pobreza natural em Mg, a absorção do elemento é diminuída pelo H⁺ e pelo Al³⁺ que aparecem em maiores concentrações nestas condições (Faquin, 2005).

O transporte do Mg²⁺ das raízes para a parte aérea ocorre pelo xilema via corrente transpiratória, basicamente na forma como foi absorvido (Mg²⁺). Ao contrário do que se dá com o Ca²⁺, e de modo semelhante ao que ocorre com o K⁺, o Mg²⁺ é móvel no floema. Grande parte do Mg da planta encontra-se na forma solúvel, por isso, é facilmente redistribuído nas plantas. Portanto, sob condições de carência, os sintomas de deficiência do elemento ocorrem nas folhas mais velhas (Faquin, 2005).

A função mais conhecida do Mg é a de compor a molécula da clorofila (Malavolta et al., 1997), que são porfirinas magnesianas (Faquin, 2005). O Mg corresponde a 2,7% do

peso das mesmas e representa cerca de 15 a 20% do Mg total das folhas das plantas. Além desta, outras importantes funções são desempenhadas pelo Mg, como a ativação enzimática, pois o Mg ativa mais enzimas que qualquer outro elemento na planta. Neste caso, o principal papel do Mg é atuar como cofator de enzimas fosforilativas, formando uma ponte entre o pirofosfato do ATP ou ADP e a molécula da enzima (Faquin, 2005; Malavolta et al., 1997).

Em plantas deficientes em Mg, segundo Faquin (2005), geralmente, a relação de N-protéico/N-não protéico decresce. O Mg parece estabilizar a configuração das partículas do ribossoma necessária para a síntese protéica. A ativação preliminar dos aminoácidos, obrigatória no processo da síntese protéica, exige Mg, e a transferência dos aminoácidos ativados para formar a cadeia polipeptídica ou protéica também necessita de Mg. Outra enzima importante no metabolismo do N, a síntese do glutamato (GS), que atua na importante via de assimilação da NH_3 - GS/GOGAT – também é ativada pelo Mg^{2+} nos cloroplastos. Assim, o Mg participa de uma série de processos vitais da planta que requerem e fornecem energia como a fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas – carboidratos, lipídeos, proteínas – e absorção iônica.

Como a maior parte do Mg na planta encontra-se na forma difusível e o elemento é móvel no floema, os sintomas de deficiência ocorrem nas folhas mais velhas. Estes se manifestam como uma clorose internerval. Algumas variações ocorrem entre as espécies, citando-se, como exemplo, o aparecimento da cor avermelhada nas folhas mais velhas do algodoeiro (Faquin, 2005).

2.2.6 Enxofre

O enxofre é absorvido ativamente pelas raízes das plantas, predominantemente na forma altamente oxidada de sulfato (SO_4^{2-}). As folhas são capazes de absorver, além do sulfato, o gás SO_2 existente no ar, mas de forma pouco eficiente (Malavolta et al., 1997). Para as plantas, a fonte primária de enxofre são as rochas ígneas, nas quais o elemento ocorre, em geral, em pequenas proporções como sulfato. O enxofre na planta encontra-se, na sua maior parte, nas proteínas. Os seus teores nas plantas são da ordem de 0,2 a 0,5% da matéria seca. As necessidades da maioria das culturas estão na faixa de 10 a 30 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de enxofre, podendo ser mais elevadas para culturas exigentes. Entre as famílias de plantas, o

requerimento de S aumenta na seguinte ordem: gramíneas < leguminosas < crucíferas (Faquin, 2005).

O SO_4^{2-} é transportado, em grande proporção, na direção acrópeta, da base da planta para cima. A capacidade da planta em mover o S na direção basípeta é pequena, por isso, nos casos de carência, os sintomas aparecem em primeiro lugar nos órgãos mais novos, como as folhas jovens (Malavolta et al., 1997). Como o enxofre é pouco redistribuído nos tecidos vegetais, em caso de carência do elemento, os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais novas, como uma clorose generalizada no limbo foliar (Faquin, 2005).

O enxofre é constituinte dos aminoácidos, cisteína e metionina. A tiamina, a biotina e a coenzima A (CoA) são coenzimas de baixo peso molecular essenciais para o metabolismo quando ligadas às apoenzimas apropriadas que as requerem para exercer função de catalisadores orgânicos (Malavolta et al., 1997). Segundo Faquin (2005), a cisteína e a metionina são os mais importantes aminoácidos contendo enxofre e, portanto, o elemento está presente em todas as proteínas. Uma das principais funções do enxofre nas proteínas ou polipeptídeos é a formação da ligação dissulfeto (S-S). Estas ligações atuam na estabilidade da estrutura terciária das proteínas. A ligação dissulfeto tem um papel essencial, pois contribui para a conformação correta da proteína enzimática cataliticamente ativa.

As ferredoxinas, proteínas que contêm ferro e não apresentam o grupo heme, participantes da fotossíntese, fixação biológica do N_2 do ar e em outras reações de transferência de elétrons, contêm enxofre em quantidade equivalente ao ferro presente. Alguns compostos voláteis contendo enxofre contribuem para o odor característico que se desprende da cebola, do alho, da mostarda e de outros produtos vegetais (Malavolta et al., 1997).

Outro papel fundamental exercido pelo enxofre no metabolismo, conforme Faquin (2005), é a participação direta do grupo sulfidrilo (-SH), como o grupo ativo das enzimas na ligação com o substrato, embora nem todos os grupos SH livres sejam ativos. Muitas enzimas e coenzimas como a urease, APS-sulfotransferase e a coenzima A (CoASH), têm o grupo SH como grupo ativo nas reações enzimáticas. O enxofre não reduzido (sulfato) é componente dos sulfolipídeos e assim um constituinte estrutural das membranas celulares. O sulfato é ligado aos lipídeos e são particularmente abundantes nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos.

Segundo Faquin (2005), devido a sua participação num número tão grande de compostos e reações, a carência de enxofre provoca uma série muito grande de distúrbios metabólicos. Nessas condições, ocorre uma diminuição na síntese de proteínas e açúcares,

um acúmulo de N-orgânico solúvel e N-NO_3^- e, com isto, uma redução no crescimento da planta. A fixação biológica do N_2 atmosférico também é bastante diminuída sob condições de deficiência de enxofre e a síntese de gorduras também é afetada nestas condições.

No solo, a maior parte do enxofre encontra-se na forma orgânica e a fração mineral é, em geral, reduzida, menos de 5% do total. Em condições aeróbicas, a forma que ocorre é o sulfato (SO_4^{2-}). Em condições anaeróbicas, de solos permanentemente encharcados, ocorrem sulfetos, podendo haver desprendimento de H_2S do solo ou até formação de S elementar (Faquin, 2005). Os sulfatos de cálcio, magnésio, potássio e sódio podem ser importantes em solos das regiões áridas. Em solos ricos em argilas do tipo 1:1 e óxidos de ferro e alumínio é comum haver adsorção de sulfato. Em subsolos de áreas muito adubadas, pode haver acúmulo de quantidades consideráveis de sulfatos adsorvidos.

2.2.7 Ferro

O ferro é o elemento metálico mais comum na crosta terrestre. Em solos, sua ocorrência é principalmente na forma de óxidos e hidróxidos. Os teores totais em solo estão comumente entre 0,5 e 5%, mas em alguns solos brasileiros os teores podem ultrapassar 10%. A solubilidade e geoquímica do ferro são afetadas pelo estado de oxi-redução e pelo pH do solo. A geoquímica do ferro é complexa e determinada pela facilidade de mudança das valências (Fe^{2+} e Fe^{3+}), em resposta a alterações das condições físico-químicas do meio. A disponibilidade do ferro é maior sob condições de pH mais baixo (ácido) e com a diminuição do potencial de oxi-redução do solo. Na solução do solo, em solos aerados, a concentração das formas iônicas Fe^{3+} e Fe^{2+} são extremamente baixas (10^{-10} M ou menos) (Faquin, 2005). No solo, o Fe se encontra principalmente como Fe^{3+} , Fe^{2+} e quelatizado, sendo absorvido nas duas últimas formas, respectivamente (Malavolta et al., 1997).

Segundo Faquin (2005), a concentração de ferro nos tecidos vegetais, considerada adequada, varia normalmente entre 50 e 250 mg.kg^{-1} na matéria seca. Geralmente, teores menores de 50 mg.kg^{-1} indicam problemas de deficiência do elemento. O íon requerido no metabolismo é o Fe^{2+} e esta forma é absorvida pelas plantas. Ao que parece, a eficiência de absorção está relacionada com a capacidade das raízes em efetuar a redução do ferro férrico (Fe^{3+}) para ferroso (Fe^{2+}) na rizosfera. Algumas plantas eficientes em absorver ferro baixam o pH da solução e excretam substâncias redutoras capazes de reduzir o Fe^{3+} para Fe^{2+} . Concentrações elevadas de outros cátions na solução diminuem a absorção de ferro. O

aumento da disponibilidade do Mn em solos ácidos, por exemplo, inibe competitivamente a absorção de Fe, causando o aparecimento de sintomas de deficiência. O transporte do Fe se dá pelo xilema, via corrente transpiratória, predominante na forma de quelado do ácido cítrico. O Fe é pouco redistribuído na planta, portanto, os sintomas de carência manifestam-se inicialmente nas folhas mais novas. Pode-se encontrar teor de ferro-total alto em folhas deficientes do elemento. Dados deste tipo sugerem que parte do nutriente esteja em forma inativa, como Fe^{3+} ou precipitado pelo fósforo.

O Fe é componente de uma série de enzimas, a maioria das quais participa de reações de oxi-redução no metabolismo, em que há mudança reversível de valência (Fe^{2+} para Fe^{3+}). Dois grupos de proteínas contendo o Fe são bem definidos: hemo-proteína e Fe-S-proteína (Faquin, 2005). O Fe desempenha função estrutural nos quelatos e fitoferritina, e é constituinte ou ativador da Heme Peroxidase; Citocromos a, a_3 , b_2 , b_3 , b_6 , f; Hemoglobina (leg); Redutase de sulfito; Ferredoxina; Desidrogenase succínica; Nitrogenase; Redutase de nitrito; Redutase de nitrato; Hidrogenase e Aconitase. Além de participar dos processos de fotossíntese, respiração, fixação biológica de nitrogênio e assimilação de nitrogênio e enxofre (Malavolta et al., 1997).

O Fe é pouco móvel na planta, portanto, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas mais novas, as quais amarelecem devido à menor síntese de clorofila, enquanto apenas as nervuras podem ficar verdes durante algum tempo, destacando-se como um reticulado fino (rede verde fina nas nervuras sobre fundo amarelo). Com a evolução, as folhas podem sofrer um branqueamento (Faquin, 2005).

Segundo Büll (1993), quando o ferro torna-se limitante, o crescimento dos tilacóides diminui ou cessa, causando, conseqüentemente, a diluição do ferro e da clorofila, pelo constante crescimento da folha, resultando, assim, numa cor amarelo-pálida, típica de deficiência de ferro.

2.2.8 Boro

Para Faquin (2005), o conteúdo de boro total nos solos é bastante variado, citando-se valores de 20 a 200 mg.kg^{-1} , e pequena fração deste está na forma disponível às plantas, variando de 0,4 a 5 mg.kg^{-1} . Em solos das regiões úmidas, a turmalina constitui o principal mineral primário contendo o B, mas de pouca importância no fornecimento do elemento às plantas, devido à sua alta resistência ao intemperismo. A matéria orgânica é a

principal fonte de B destes solos às plantas. Portanto, solos com baixos teores de matéria orgânica e a ocorrência de fatores que diminuem a sua mineralização, predispõem as culturas à carência do micronutriente.

O boro é absorvido pela planta na forma de ácido bórico não dissociado H_3BO_3 (Malavolta et al., 1997). O B é o único nutriente que não atende ao critério direto de essencialidade, mas satisfaz o critério indireto. A maior prova da sua essencialidade consiste em que, nos solos das regiões tropicais, ao lado do Zn, é o micronutriente que mais frequentemente promove deficiência nas culturas. A concentração de B nos tecidos das monocotiledôneas, geralmente, varia de 6 a 18 mg.kg^{-1} , e nas dicotiledôneas de 20 a 60 mg.kg^{-1} , por isso, a deficiência de boro em cereais é menos comum no campo (Faquin, 2005).

Segundo Kirkby & Römheld (2007), o B é o menos compreendido de todos os nutrientes minerais, embora em termos molares seja requerido pelas dicotiledôneas nas maiores quantidades dentre todos os micronutrientes. É relativamente fácil induzir deficiência de B e os sintomas aparecem rapidamente, junto com mudanças distintas na atividade metabólica. Ao longo dos anos, estas mudanças foram investigadas continuamente e as funções que se sugerem para o B nas plantas incluem o transporte de açúcar, a lignificação e a estruturação da parede celular, o metabolismo de carboidratos, do RNA, do AIA, dos dos fenóis e do ascorbato, a respiração, a função da membrana, a fixação de N_2 , e a diminuição da toxicidade de alumínio.

O boro desempenha função estrutural nos complexos cis com carboidratos, difenóis e açúcares-P. É constituinte ou ativador das enzimas ATPase de membranas celulares e Sintetase de glicânio. Participa dos processos de absorção iônica; transporte de carboidratos; síntese de lignina e celulose; síntese de ácidos nucléicos e proteínas (Malavolta et al., 1997). Como o B não atende ao critério direto de essencialidade, os seus papéis na planta ainda não foram demonstrados de maneira inequívoca. Muitas das funções postuladas ao boro estão relacionadas à grande afinidade que o íon borato apresenta para com os compostos polihidroxil, que apresentam um par de grupos cis-hidroxil (cis-diol), incluindo açúcares e alcoóis açúcares, que servem, por exemplo, como constituintes da hemicelulose da parede celular. Uma importante função atribuída ao boro é a de facilitar o transporte de açúcares através das membranas. Neste caso, o borato formaria complexos açúcar-borato que atravessariam mais facilmente as membranas celulares do que as moléculas de açúcares altamente polares (Faquin, 2005).

Segundo Faquin (2005), aceita-se também que o boro esteja envolvido na síntese da base nitrogenada Uracila. Esta base é precursora da Uridina Difosfato Glicose (UDPG), a qual é uma co-enzima essencial na síntese da sacarose, que é a forma mais importante de açúcar transportada na planta. Assim, o menor transporte de açúcar em plantas deficientes em boro seria consequência destes dois fatores. Como a Uracila é uma base nitrogenada componente do RNA, a deficiência de B também afeta a síntese do ácido nucleico e, em consequência, a síntese de proteínas. Também tem sido demonstrado que o B é necessário para a incorporação do fosfato em nucleosídeos para a formação de nucleotídeos, que são as unidades formadoras dos ácidos nucleicos. Nas plantas deficientes em boro ocorre menor síntese de DNA e RNA, levando, em consequência, à menor produção de proteínas pelas plantas.

Quanto à qualidade de colheita, o boro colabora com o cálcio na germinação do grão de pólen e crescimento do tubo polínico; aumenta o pegamento da florada; aumenta a granação; diminui a esterilidade masculina e o chochamento de grãos (Malavolta et al., 1997). O mais rápido efeito da deficiência de boro em plantas é a paralisação do crescimento dos meristemas apicais, tanto das raízes quanto da parte aérea. A exigência em boro é, normalmente, maior para a redução de sementes e grãos do que para o crescimento vegetativo das plantas. Isto é devido à sua participação no processo de fertilização. A carência de boro, conforme Faquin (2005), na germinação do grão de pólen e no crescimento do tubo polínico, causa a má formação de grãos em cereais, como no milho; esterilidade masculina em trigo e má formação dos cachos de uva, entre outros.

Os papéis do B na germinação do pólen e no crescimento do tubo polínico são particularmente importantes para a produção das culturas. Ambos os processos são severamente inibidos pela deficiência deste micronutriente. Para que ocorra o crescimento do tubo polínico são necessárias altas concentrações de B no estigma e no estilete para a inativação fisiológica de calose, por intermédio da formação de complexos borato-calose na interface tubo polínico/estilete (Lewis, 1980, citado por Kirkby & Römheld, 2007).

Dado à imobilidade do boro na planta, os sintomas de sua deficiência aparecem primeiramente nos órgãos mais novos e nos meristemas apicais, tanto da parte aérea quanto das raízes. Caracteriza-se pela redução do tamanho e deformação das folhas mais novas, morte da gema terminal e menor crescimento das raízes. Há muito se sabe existir um limite estreito entre o teor adequado e o nível tóxico de B na planta. Portanto, a adubação com o elemento deve ser cuidadosa, principalmente nos solos arenosos, que devem receber doses

menores e mais frequentes, comparativamente aos argilosos. Os sintomas de toxidez manifestam-se como uma clorose malhada e depois manchas necróticas nos bordos das folhas mais velhas, que coincidem com as regiões da folha onde há maior transpiração (Faquin, 2005).

2.2.9 Cobre

A forma iônica mais comum do cobre em solos é Cu^{2+} . O elemento é adsorvido à fração mineral de solos e complexado pela matéria orgânica, e a complexação de cobre pela matéria orgânica é a reação mais importante a determinar o comportamento do elemento na maioria dos solos e apresenta um efeito direto na sua disponibilidade às plantas. Mais de 98% do cobre da solução do solo está complexado como quelato, com compostos orgânicos de baixo peso molecular como aminoácidos, compostos fenólicos e outros compostos quelantes (Faquin, 2005).

O cobre tende a se acumular nas raízes, e no processo de absorção ativa há competição entre cobre e zinco pelos mesmos sítios do carregador (Malavolta et al., 1997). A concentração ótima de cobre na maioria das plantas, geralmente, está entre 5 e 20 mg kg^{-1} na matéria seca. Deficiências são prováveis quando seu teor na matéria seca encontra-se em níveis inferiores a 4 mg kg^{-1} (Faquin, 2005). Sua mobilidade é restrita, mas uma parte pode sair das folhas velhas para as mais novas. Tanto no xilema como no floema o cobre está na forma orgânica, aniônica, provavelmente quelatizado por aminoácidos. A mobilidade desse elemento depende do teor que se encontra no tecido, ou seja, em plantas bem nutridas desloca-se com facilidade até os grãos, enquanto que em plantas deficientes o movimento é mais difícil (Faquin, 2005; Malavolta et al., 1997).

Para Malavolta et al. (1997), o transporte do cobre no floema parece ocorrer com facilidade, visto que sua deficiência pode ser corrigida mediante aplicações foliares de produtos contendo o elemento. De maneira geral, os órgãos mais jovens são os primeiros a manifestar a deficiência desse elemento.

Segundo Faquin (2005), a principal função do cobre no metabolismo vegetal é como ativador ou componente de enzimas que participam de reações de oxi-redução. Estas enzimas contendo cobre atuam no transporte eletrônico com mudança de valência - plastocianina, lacase, oxidase do ácido ascórbico e complexo da oxidase do citocromo, e no

transporte eletrônico sem mudança de valência - oxidase da amina, tirosinase, oxidase da galactose.

Os atrasos no florescimento e na senescência, que são frequentemente observados em plantas deficientes em cobre (Reuter et al., 1981, citados por Kirkby & Römheld, 2007), parecem ser causados por concentrações elevadas de ácido indolacético (AIA) resultantes do acúmulo de certas substâncias fenólicas, as quais inibem a ação da IAA oxidase. A falta de cobre afeta o crescimento reprodutivo (formação de grãos, sementes e frutos) muito mais do que o crescimento vegetativo. Nas flores de plantas adequadamente supridas com cobre, as anteras (contendo pólen) e os ovários têm o maior teor e demanda deste nutriente. Assim, o pólen proveniente de plantas deficientes em cobre não é viável (Agarwala et al., 1980, citados por Kirkby & Römheld, 2007). Outras causas de esterilidade masculina incluem falta de amido no pólen e inibida liberação dos estames como resultado de problemas na lignificação das paredes celulares das anteras.

Para Malavolta et al. (1997), os principais papéis do cobre podem ser resumidos em Fotossíntese, pois cerca de 70% do cobre das folhas estão nos cloroplastos como proteínas complexas; e Fixação Simbiótica do N_2 , pois em plantas deficientes em cobre a nodulação é diminuída, diminuindo também a fixação de nitrogênio.

As plantas deficientes em cobre mostram as folhas novas inicialmente verde-escuras e com aspecto flácido, com tamanho desproporcionalmente grande. As folhas encurvam-se para baixo e as nervuras podem ficar salientes. Em cereais as folhas tornam-se mais estreitas e retorcidas, com as pontas brancas. O perfilhamento é reduzido e observa-se também a esterilidade masculina. Este sintoma está relacionado com o papel do cobre na viabilidade do grão de pólen. Parece que a esterilidade masculina em cereais é resultado do acúmulo excessivo de auxina (Faquin, 2005).

2.2.10 Manganês

O manganês é o micronutriente mais abundante no solo, depois do ferro. No solo, o Mn ocorre em três valências, Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+} . Estas formas estão em equilíbrio por reações de oxidação-redução. A principal forma de Mn para a nutrição das plantas é o Mn^{2+} , que pode encontrar-se adsorvido aos colóides, solúvel na solução do solo na forma iônica (pequena concentração) ou na forma de quelado. Análises da solução do solo têm demonstrado que mais de 90% do Mn estão complexados a compostos orgânicos. Nos

solos brasileiros, o Mn aparece variando de 0 a 4.000 mg.kg⁻¹, em teores totais, e de 0,1 a 100 mg.kg⁻¹ em teores solúveis. A faixa de variação no solo é muito grande, por causa de sua ocorrência também variável no material de origem. Dois fatores principais afetam a disponibilidade do Mn no solo, o pH e o potencial redox. Sob condições de solo ácido, a disponibilidade é alta devido à maior solubilidade dos compostos que o contêm. A diminuição do potencial de oxi-redução do solo, pela inundação, por exemplo, favorece a solubilização dos óxidos de manganês e maiores teores de Mn²⁺ são observados, o que pode alcançar níveis tóxicos para as culturas (Faquin, 2005).

Segundo Malavolta et al. (1997), o Mn tem propriedades químicas semelhantes às de metais alcalino-ferrosos, como Ca²⁺ e Mg²⁺, e de metais pesados, como Fe e Zn. Por isso, esses cátions podem inibir sua absorção e transporte. Por sua vez, o manganês inibe a absorção dos elementos mencionados acima, principalmente o Fe.

A acidez nos solos das regiões tropicais e subtropicais, segundo Faquin (2005), favorece a disponibilidade do Mn, por isso é muito mais frequente a toxidez do que a deficiência desse micronutriente nas plantas. O nível crítico do Mn para a maioria das culturas varia de 10 a 20 mg.kg⁻¹, na matéria seca das folhas maduras. As leguminosas parecem ser mais sensíveis devido, possivelmente, ao efeito negativo da toxicidade sobre o processo de fixação biológica do nitrogênio. O manganês é absorvido ativamente pelo sistema radicular da planta como Mn²⁺. O transporte do manganês no xilema, via corrente transpiratória, se faz na forma de Mn²⁺, devido, possivelmente, à baixa estabilidade do quelado de Mn. O manganês é pouco redistribuído na planta, em consequência, os sintomas de carência se manifestam primeiro nas folhas mais novas.

As funções bioquímicas do manganês lembram as do magnésio, pois os dois nutrientes, ao desempenharem suas funções, formam pontes entre o ATP e as enzimas transferidoras de grupos (fosfoquinases e fosfotransferases). No ciclo de Krebs operam descarboxilases e desidrogenases ativadas por Mn²⁺, embora em alguns casos o Mg²⁺ possa substituí-lo. A função do Mn mais bem estudada em plantas é a sua participação, juntamente com o cloro, na evolução do O₂ no processo fotossintético (quebra fotoquímica da água no fotossistema II), na reação de Hill. Quando a planta está deficiente em Mn, o fluxo de elétrons na reação de Hill é seriamente prejudicado, com correspondentes efeitos negativos nas reações subseqüentes, como a fotofosforilação do CO₂ (ciclo de Calvin), redução do nitrito e do sulfato, cujo doador de elétron é a ferredoxina reduzida na reação de Hill (Faquin, 2005).

Para Malavolta et al. (1997), os vários papéis do manganês na planta podem ser resumidos em: Fotossíntese, por participar na liberação fotoquímica do O_2 na clássica reação de Hill efetuada pelos cloroplastos; Redução do Nitrato; e Defesa Contra Doenças, pois entre todos os micronutrientes o Mn parece ser o mais importante no desenvolvimento de resistência à doenças fúngicas das raízes e das folhas.

Mesmo as deficiências leves de Mn afetam a fotossíntese e diminuem o nível de carboidratos solúveis na planta, mas o resuprimento deste micronutriente reativa a evolução fotossintética de oxigênio. Com deficiência mais severa de Mn, entretanto, ocorre uma quebra na estrutura do cloroplasto que não pode ser revertida. Por causa da importância fundamental do Mn na cadeia de transporte de elétrons durante a fotossíntese, quando ocorre deficiência deste micronutriente, a reação à luz durante a fotossíntese é seriamente prejudicada e todas as outras reações associadas com o transporte de elétrons também o são. Isto inclui a fotofosforilação, a redução de CO_2 , de nitrito e de sulfito. O nitrito acumulado pode exercer um controle em “feedback” sobre a nitrato redutase de tal modo que o NO_3^- se acumula, como algumas vezes é observado em plantas deficientes em Mn (Kirkby & Römhild, 2007).

Como o Mn é pouco móvel na planta, os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas mais novas que, inicialmente, mostram um amarelecimento internerval, que se diferencia da deficiência de ferro por formar um reticulado grosso. Além das nervuras, uma estreita faixa de tecido ao longo das mesmas permanece verde. Muito mais frequente que a deficiência, a toxidez de Mn tem-se manifestado em muitas culturas, mas que pode ser corrigida pela calagem. Frequentemente, dada a interação do Mn com outros nutrientes, o seu excesso pode manifestar-se como deficiência induzida de cálcio, magnésio e, em especial, de ferro e, só posteriormente, como toxidez. Esta manifesta-se primeiramente nas folhas mais novas, através de pontuações de cor marrom ao longo das nervuras e também entre estas, que tornam-se necróticas, cercadas por zonas cloróticas. Nestes pontos ocorre acúmulo de óxido de manganês. As folhas das dicotiledôneas se deformam ficando encarquilhadas. O silício é capaz de diminuir o efeito tóxico do Mn, por proporcionar uma distribuição mais uniforme do micronutriente na lâmina foliar, impedindo a formação das pontuações marrons (Faquin, 2005).

Segundo Benassi & Fullin (1996), o manganês participa de ligações energéticas entre ATP e complexo enzimático. É também requerido na fotossíntese e na fotólise da água com liberação de oxigênio. Para Barbosa Filho (1987), citado por Büll (1993), esse

nutriente é um importante ativador de enzimas, como a descarboxilase e a desidrogenase, além de participar do metabolismo do nitrogênio.

A deficiência de manganês é indicada pela clorose internerval das folhas mais novas acompanhadas, em seguida pelas folhas mais velhas. Em casos severos, aparecem longas faixas brancas no tecido das folhas e os colmos tornam-se finos (Benassi & Fullin, 1996). Os cloroplastos são os componentes da célula mais sensíveis à deficiência de manganês, sendo acometidos por uma desordem na sua estrutura com reflexos negativos na atividade fotossintética (Borkert, 1989, citado por Büll, 1993).

Para Benassi & Fullin (1996), a calagem excessiva pode induzir à deficiência de manganês, pois o aumento do pH do solo reduz a disponibilidade desse nutriente.

2.2.11 Zinco

Nos solos das regiões tropicais, uma alta proporção do zinco se encontra em formas adsorvidas na argila e na matéria orgânica. Estima-se que 30 a 60% do Zn adsorvido esteja preso ao Fe_2O_3 (goetita) e esta retenção aumenta com a elevação do pH, reduzindo a sua disponibilidade para as plantas. A concentração de Zn na solução do solo é muito baixa, da ordem de 10^{-8} a 10^{-6} M, a maior parte, cerca de 60%, como complexos orgânicos solúveis. Admite-se que nos solos brasileiros, dada a grande frequência de deficiência do elemento em muitas culturas, as reservas do nutriente sejam pequenas ou que a disponibilidade seja baixa, ou ambas as coisas. A calagem dos solos ácidos, como os do cerrado, elevando o pH, pode agravar o problema de deficiência (Faquin, 2005).

De um modo geral, conforme Faquin (2005), aceita-se que a absorção radicular do Zn^{2+} se dê ativamente, embora nas raízes cerca de 90% do elemento ocorram em sítios de troca ou adsorvidos nas paredes das células do parênquima cortical (Malavolta et al., 1997). Ao lado do boro, o zinco é o micronutriente que mais frequentemente promove deficiência nas culturas nos solos das regiões tropicais. A concentração ótima de Zn, de acordo com as espécies, varia de 20 a 120 mg.kg^{-1} na matéria seca das plantas. Deficiências de zinco são usualmente associadas com teores menores que 20 mg.kg^{-1} e toxidez acima de 400 mg.kg^{-1} .

Segundo Faquin (2005), adubações pesadas com P podem induzir deficiência de Zn. As possíveis causas atribuídas a este antagonismo são precipitação de compostos de P-Zn no solo; inibição não competitiva no processo de absorção; menor transporte do Zn

das raízes para a parte aérea e, principalmente, o “efeito de diluição” pode ser entendido como a diminuição do teor de um determinado nutriente na matéria seca (no caso o Zn), devido ao crescimento da planta em resposta à aplicação de outro nutriente deficiente no meio (no caso o P). Assim, o crescimento da planta, em resposta à aplicação do P, pode diluir o teor de Zn na matéria seca a valores abaixo do nível crítico, favorecendo o aparecimento de sintomas de deficiência do micronutriente. O zinco é transportado das raízes para a parte aérea pelo xilema, predominantemente na forma de Zn^{2+} , o que talvez se explique pela baixa constante de estabilidade dos quelantes orgânicos. Este fato ajuda a entender a diminuição do transporte do Zn no xilema, com o aumento do P no meio, devido à precipitação do micronutriente pelo fosfato. O Zn é pouco móvel na planta, particularmente nas plantas deficientes. Por isso os sintomas de carência aparecem nos órgãos mais novos.

O Zn é constituinte das enzimas Anidrase carbônica; Isomerase de fosfomanose; Desidrogenase láctica; Desidrogenase alcoólica; Aldolase; Desidrogenase glutâmica; Carboxilase pirúvica; Sintetase do triptofano; Ribonuclease, além de participar dos processos de respiração, controle hormonal e síntese de proteínas (Malavolta et al., 1997). O Zn está estreitamente envolvido no metabolismo nitrogenado da planta. Em plantas deficientes em Zn há redução da síntese protéica e acúmulo de aminoácidos e amidas. Três distintos mecanismos são responsáveis pelo efeito adverso da deficiência de Zn na síntese e conteúdo protéico nas plantas. Primeiro, o Zn é um componente da RNA polimerase, que pela polimerização de nucleotídeos leva à síntese do RNA. Segundo, o Zn é um constituinte dos ribossomos, que atua na manutenção da integridade estrutural destas organelas. Em plantas deficientes em Zn há a desintegração dos ribossomos, mas com a aplicação do micronutriente, o processo volta ao normal rapidamente. Terceiro, é que o Zn regula a atividade da RNase, que atua na desintegração do RNA. Há clara correlação inversa entre o suprimento de Zn e a atividade da RNase e também entre a atividade da RNase e o conteúdo de proteínas e o crescimento da planta (Faquin, 2005).

Devido à pouca mobilidade, os sintomas de deficiência de zinco se manifestam nas folhas mais novas. Os sintomas mais típicos da carência do elemento consistem no encurtamento dos internódios e na produção de folhas novas pequenas, cloróticas e lanceoladas e formação de tufos na ponta de ramas das plantas perenes (roseta de laranjeiras, cafeeiro e pessegueiro) ou plantas anãs (milho, arroz, cana de açúcar) (Faquin, 2005). No que diz respeito à qualidade da colheita, o Zn estimula o crescimento e a frutificação das plantas (Malavolta et al., 1997).

A deficiência de zinco manifesta-se na planta através de clorose ou de folhas esbranquiçadas na região de crescimento, seguido de necrose e internódios curtos. A deficiência desse micronutriente pode ocorrer naturalmente no solo ou com a aplicação de elevadas doses de calcário e, ou, fósforo (Benassi & Fullin, 1996).

2.2.12 Molibdênio

O molibdênio é o micronutriente menos abundante no solo e o menos exigido pelas culturas. Aparece no solo na forma aniônica (HMoO_4^- e MoO_4^{2-}) e pode ser adsorvido ao solo, principalmente a óxidos, de maneira similar à que acontece com sulfatos e fosfatos. Da mesma forma que acontece com estes ânions, à medida que aumenta o pH do solo, cresce a disponibilidade do Mo. A calagem pode, às vezes, corrigir a deficiência do elemento pelo aumento da sua disponibilidade (Faquin, 2005).

O molibdênio, entre os micronutrientes, é o único que, dependendo da espécie, a quantidade presente na semente é bastante para permitir o crescimento normal (Kirkby & Römheld, 2007). Segundo Benassi & Fullin (1996), normalmente as sementes contêm molibdênio suficiente para várias gerações, desde que produzidas com bom suprimento desse micronutriente. Nas plantas deficientes, há o aumento do teor de nitrato nos tecidos vegetais, decorrente da falta de redução dessa última substância, processo no qual o molibdênio participa na atividade da enzima nitrato-redutase. Os sintomas visuais surgem como pequenas manchas brancas nas nervuras maiores e encurvamento do limbo ao longo da nervura principal.

As crucíferas e as leguminosas são particularmente exigentes em Mo e são as que frequentemente necessitam de adubação com o elemento. Plantas deficientes em Mo, normalmente apresentam teores menores que $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ na matéria seca das folhas. O nível crítico, na maioria das vezes, é menor que $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Nos nódulos das leguminosas tem sido encontrados teores de Mo dez vezes maior que nas folhas. O transporte do Mo no xilema pode ocorrer como MoO_4^{2-} , ligado a grupos SH de aminoácidos ou complexado a açúcares ou com outros compostos polihidroxilados (Faquin, 2005; Malavolta et al., 1997). O Mo tem média mobilidade no floema (Malavolta et al., 1997), por isso é considerado moderadamente móvel na planta (Faquin, 2005).

O Mo é componente de duas enzimas essenciais ao metabolismo de nitrogênio, a Redutase do Nitrato e a Nitrogenase. A Redutase do Nitrato é a enzima responsável pelo

primeiro passo da redução assimilatória do nitrato e contém, além do Mo, também o Fe. Plantas deficientes em Mo acumulam o NO_3^- e podem apresentar deficiência de nitrogênio. Com isso, o teor de clorofila é reduzido e o crescimento da planta é menor. A Nitrogenase, que também contém Mo e Fe, é o complexo enzimático responsável pela fixação biológica do N_2 em microorganismos fixadores de vida livre ou simbióticos. Por esta razão é que a concentração de Mo nos nódulos é várias vezes maior do que aquela encontrada nas folhas das leguminosas. A aplicação do elemento junto às sementes de leguminosas, no plantio, tem sido recomendada e respostas em produção têm sido relatadas (Faquin, 2005).

Segundo Malavolta et al. (1997), plantas bem supridas de molibdênio têm mais proteína e ácidos nucleicos e teor mais alto de ácido ascórbico (vitamina C), e as plantas deficientes mostram diminuição nos teores de açúcares nas folhas.

O Mo difere de ferro, manganês e cobre pelo fato de estar presente nas plantas como ânion, principalmente em sua forma mais altamente oxidada, Mo(VI), mas também como Mo(V) e Mo(IV). Além disso, diferentemente de todas as outras deficiências de micronutrientes, a de Mo está associada com condições de pH do solo baixo e não alto. Há apenas algumas poucas enzimas contendo Mo nas plantas superiores. As duas mais importantes, e mais bem pesquisadas, são a nitrato redutase e, em leguminosas noduladas, a nitrogenase. As enzimas contendo Mo podem ser descritas como proteínas multicentro de transferência de elétrons. O suprimento de Mo está, portanto, intimamente associado com a utilização e o metabolismo de N. Como era de se esperar, as plantas supridas com N-NH_4 apresentam requerimento de Mo muito mais baixo do que aquelas supridas com NO_3 , e os sintomas de deficiência de Mo são menos severos, ou, até mesmo, ausentes em comparação com plantas que receberam este último (Kirkby & Römheld, 2007).

Para Faquin (2005), algumas espécies mostram os sintomas de deficiência de Mo nas folhas velhas e outros nas folhas novas. As leguminosas, por exemplo, podem mostrar sintomas de falta de nitrogênio. Clorose malhada geral, manchas amarelo-esverdeadas em folhas velhas e depois necrose também têm sido descritas. As manchas necróticas que aparecem nas margens das folhas parecem ser devidas à acumulação de NO_3^- . Murcha das margens das folhas novas e encurvamento do limbo para cima ou para baixo também têm sido observados. No gênero *Brassica*, o “rabo de chicote” (“Whiptail”), que consiste de folhas novas que crescem quase desprovidas de limbo – cresce apenas a nervura principal – é um sintoma típico de deficiência de Mo, exigindo a aplicação foliar do micronutriente desde a sementeira da cultura.

2.3 DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

Segundo Fontes (2001), diagnosticar o estado nutricional das plantas é conhecer e avaliar as suas condições sob o aspecto da nutrição mineral, o que se justifica pela necessidade de manejar a fertilização da cultura em consonância com os princípios da tecnologia de aplicação de dose variável ou adaptada a cada local, ou da agricultura de precisão. O manejo preciso da adubação beneficia o meio ambiente, por causar menores níveis de acidificação do solo, eutrofização das águas, poluição do lençol freático e salinização de áreas. Beneficia, também, vários segmentos da sociedade, como o produtor, pela maior produtividade e maior margem de lucro; os agentes técnicos, pela maior eficácia dos insumos vendidos; e os consumidores, pelas melhores características dos produtos e melhores preços.

A diagnose consiste em comparar o aspecto da amostra com o do padrão. Na maior parte dos casos, compara-se um órgão, geralmente a folha, mas pode-se também comparar outros órgãos, como raízes e frutos (Malavolta et al., 1997).

O solo (ou substrato, ou solução nutritiva), segundo Faquin (2005), é o meio do qual as plantas, através da absorção radicular, obtêm os elementos minerais essenciais. Quando o meio não tem e, ou, não fornece as quantidades adequadas dos nutrientes, as plantas não terão as suas exigências nutricionais atendidas. Haverá, portanto, redução do crescimento e da produção das culturas devido à deficiência nutricional. Assim, a avaliação do estado nutricional das plantas objetiva identificar os nutrientes que estariam limitando o crescimento e a produção das culturas. A técnica, nos seus diversos métodos, consiste, basicamente, em se comparar uma planta, uma população de plantas, ou uma amostra dessa população com um padrão da cultura em questão. O padrão seria uma planta “normal”, sem nenhuma limitação do ponto de vista nutricional e capaz de altas produções.

Para Silveira et al. (2002), uma das maneiras práticas de detectar o elemento limitante, além da diagnose foliar, é por meio do aspecto visual das plantas. Sabe-se que as deficiências minerais promovem alterações no metabolismo, as quais frequentemente modificam os aspectos morfológicos e anatômicos.

A diagnose foliar pode ser feita mediante observação visual de sintomas de distúrbios nutricionais (diagnose visual), ou mediante procedimentos mais sofisticados, envolvendo, por exemplo, a análise química das folhas. A diagnose visual é possível apenas quando os sintomas de deficiência ou excesso se manifestam visualmente. Nesse estágio, muitas vezes, é inevitável a perda de produção (Bataglia, 1997).

Segundo Fontes (2001), o estado nutricional das plantas pode ser determinado por meio de procedimentos indiretos (avaliação das características enzimáticas/bioquímicas e fitotécnicas/fisiológicas das plantas; concentração de clorofila, etc) e por procedimentos diretos (análise visual; análise da matéria seca, ou da seiva).

2.3.1 Diagnóstico pelo método visual

O diagnóstico pelo método visual consiste em caracterizar, descrever e, ou, fotografar, mais precoce e detalhadamente possível, os sintomas de deficiência/toxidez na planta-problema e compará-los com os sintomas padrões de deficiências/toxidez para cada nutriente descrito na literatura, para aquela espécie ou variedade, se possível. O inadequado suprimento do nutriente pelo solo causará o aparecimento de sintomas de deficiência ou toxidez nas plantas. Os sintomas observados precisam ser descritos excluindo-se os sintomas causados por fatores bióticos e abióticos. Alguns fatores precisam ser observados, como distribuição dos sintomas na área; estado fisiológico da planta; posicionamento na planta; localização nas folhas e simetria (Fontes, 2001).

Para Faquin (2002), a diagnose visual consiste em se comparar visualmente o aspecto (coloração, tamanho, forma) da amostra (planta, ramos, folhas) com o padrão. Na maioria das vezes o órgão de comparação é a folha, pois é aquele que melhor reflete o estado nutricional da planta. Como nas folhas ocorrem os principais processos metabólicos do vegetal, as mesmas são os órgãos da planta mais sensíveis às variações nutricionais.

O método visual é baseado na premissa de que os sintomas da deficiência ou do excesso do nutriente, em determinado órgão da planta de uma espécie, sejam específicos para cada nutriente e distintos visualmente. De modo geral, cada nutriente tem funções específicas nas plantas e os diferentes elementos produzem diferentes sintomas de deficiência e de toxidez (Malavolta et al., 1997). Às vezes, a deficiência de um nutriente específico não afeta, necessariamente, o mesmo processo metabólico em todas as espécies. Nesse caso, é possível que os sintomas em uma espécie não sejam os mesmos em outra. A grande vantagem do método visual consiste no baixo custo e na maior rapidez no diagnóstico, quando comparado aos demais. Além disso, pode ser realizado em campo e não necessita de instrumento sofisticado e caro (Fontes, 2001).

A mobilidade do nutriente na planta interfere no aparecimento dos sintomas. Em plantas com deficiência de elementos com alta mobilidade (N, P, K, Mg) os sintomas

aparecem primeiramente nas folhas velhas. E em plantas com deficiência de elementos considerados de baixa mobilidade (Ca, Mn, B) os sintomas aparecem primeiramente nas folhas novas. Alguns elementos são considerados de mobilidade intermediária (Fe, Zn, Cu, Mo, S), nesse caso, os sintomas podem ocorrer tanto nas folhas novas como nas velhas, dependendo de fatores como grau de deficiência, taxa de crescimento da planta, espécie, entre outros (Fontes, 2001).

Os sintomas de deficiência mineral mais comumente verificados nas folhas são: clorose, deformações e necrose e, geralmente, estão associados aos seguintes nutrientes:

- Clorose uniforme: N, S, Fe;
- Clorose internerval: Mg, Zn, Mn, Mo;
- Clorose e necrose marginal da folha: K;
- Clorose e necrose internerval: Mg, Mn, Mo, P;
- Deformações: Zn, Mo, B, Ca, Cu.

O motivo pelo qual o sintoma é típico do elemento, deve-se ao fato de que um dado nutriente exerce sempre as mesmas funções para qualquer que seja a espécie da planta, e os principais sintomas de deficiência e excesso de nutrientes, de acordo com Malavolta et al. (1997), podem ser observados na Tabela 3.

Os sintomas de deficiência de N em mudas de eucalipto ocorrem inicialmente nas folhas mais velhas que apresentam coloração verde clara e vão ficando amareladas e com pequenos pontos avermelhados ao longo do limbo. Posteriormente, os pontos cobrem todo o limbo, ocorrendo um avermelhamento generalizado e queda das folhas. Segundo Mafeis et al. (2000), a omissão de N, Ca, Mg, S e B reduziu o crescimento em altura das plantas, enquanto que a ausência de N afetou o crescimento em diâmetro. A omissão de N e B comprometeram a produção de folhas, resultando numa menor produtividade de óleo por planta de *Eucalyptus citriodora*.

Para se evitar limitações no crescimento e na produção, como consequência de deficiências ou excessos, pode-se e deve-se adaptar a planta ao solo - empregando a espécies e suas variedades de acordo com sua tolerância à acidez do solo e capacidade maior em absorver e utilizar nutrientes disponíveis; ou, adaptar o solo à planta - promovendo calagem, que elimina a acidez, e adubações, que fornecem os elementos limitantes (Malavolta et al., 1997).

Os sintomas de deficiência de B em mudas de eucalipto aparecem primeiro nas folhas novas que apresentam intensa clorose marginal seguida de secamento das margens. As nervuras tornam-se extremamente salientes com posterior necrose (aspecto de

“costelamento”). As folhas mais novas apresentam-se encarquilhadas e espessas. Na planta ocorre perda de dominância causada pela morte da gema apical.

Tabela 3. Chave geral para identificação dos sintomas de deficiência de nutrientes nas plantas.

Sintomas	Causa provável
----- Folhas ou órgãos mais velhos -----	
Clorose em geral uniforme (dicotiledôneas)	- N
Cor verde azulada, com ou sem amarelecimento das margens	- P
Clorose e depois necrose das pontas e margens; clorose internerval nas folhas novas (monocotiledôneas)	- K
Clorose internerval seguida, ou não, da cor vermelho-roxa	- Mg
Clorose uniforme, com ou sem estrangulamento do limbo e manchas pardas internervais; encurvamento (ou não) do limbo	- Mo
----- Folhas ou órgãos mais novos -----	
Murchamento das folhas e colapso do pecíolo; clorose marginal; manchas nos frutos; morte das gemas	- Ca
Clorose geralmente uniforme	- S
Folhas menores e deformadas; morte da gema; encurtamento de internódios; superbrotamento de ramos; suberização de nervuras; fendas na casca	- B
Murchamento, cor verde-azulada e deformação do limbo; encurvamento dos ramos; deformação das folhas; exsudação de goma (ramos e frutos)	- Cu
Clorose e nervuras em reticulado verde e fino	- Fe
Clorose, nervuras em reticulado verde e grosso e tamanho normal	- Mn
Folhas lanceoladas (dicotiledôneas), clorose internerval e internódio curto; morte de gemas ou região de crescimento	- Zn

Fonte: Malavolta et al. (1997).

Em plantas de mogno com omissão de boro, Wallau et al. (2008) observaram pontos cloróticos nas folhas novas e velhas. Observaram, também, uma coloração avermelhada nas folhas mais velhas, que caíram precocemente. Comportamento semelhante foi descrito por Camargos et al. (2002) em mudas de castanheira-do-brasil.

Na ausência de boro, de acordo com Salvador et al. (1994), as plantas de cupuaçuzeiro perderam a dominância apical, originando três ou quatro ramos plagiotrópicos, com internódios curtos e folhas cada vez menores. O caule dessas plantas apresentou certo engrossamento.

Deve-se ressaltar que o sintoma visual de deficiência ou toxidez, é o último passo de uma série de problemas metabólicos, irreversíveis, e que quando aparecem, de maneira geral, a produção já foi comprometida. É possível que ocorram situações em que o crescimento e a produção são limitadas, sem que a sintomatologia típica se manifeste. Trata-se da chamada “fome ou toxidez oculta”, e ocorre quando a carência ou excesso são mais leves (Faquin, 2002).

2.3.2 Diagnóstico por meio da análise foliar ou química

Para Malavolta et al. (1997), a diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas em que se analisam determinadas folhas em períodos definidos da vida da planta, pois são as folhas que mais respondem às variações no suprimento de nutrientes, seja pelo solo, seja pelo adubo adicionado.

A análise química do solo, certamente, é a principal ferramenta para o diagnóstico da fertilidade do solo e estabelecimento da necessidade de correção e adubação das culturas. No entanto, o solo é um meio complexo, heterogêneo e nele ocorrem inúmeras reações químicas, físico-químicas e microbiológicas, que influenciam a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes aplicados com os fertilizantes. Os tecidos das plantas, por sua vez, mostram o seu estado nutricional num dado momento, de modo que a análise dos tecidos, aliada à análise do solo, permite um diagnóstico mais eficiente do estado nutricional da cultura e das necessidades de alterações no programa de adubação. A análise de tecidos torna-se mais importante ainda, no caso do N e dos micronutrientes, para os quais a análise do solo não está bem consolidada (Faquin, 2002).

A análise foliar ou química é entendida como a determinação, em laboratório, da composição mineral de amostras de parte da planta coletada em determinado estágio de desenvolvimento, utilizando-se técnicas padronizadas (Fontes, 2001).

Segundo Veloso et al. (2004), mesmo com as dificuldades que ainda existem na interpretação dos resultados, a diagnose foliar vem se desenvolvendo, apresentando algumas aplicações bem definidas, e outras, que se delineiam como promissoras, destacando-se o levantamento do estado nutricional de culturas e a confirmação de sintomas visíveis de deficiência de nutrientes, determinando os níveis dos diferentes elementos minerais nas folhas, obtendo, dessa forma, orientação para a correção da fertilidade do solo e estudo do efeito das adubações de solo e foliar. Uma amostragem inadequada pode comprometer todas as

recomendações feitas, com base nos resultados da análise química. A qualidade e a precisão dos resultados da análise dependem diretamente da amostragem.

Segundo Malavolta et al. (1997), deve-se obedecer a três premissas básicas na utilização da análise foliar:

- a) Suprimento de nutriente pelo solo - solos mais férteis ou mais bem adubados devem propiciar melhores colheitas que solos mais pobres ou menos adubados;
- b) Suprimento de nutriente pelo solo - aumentando-se o fornecimento de nutrientes deve-se aumentar a concentração do elemento na planta;
- c) Relação entre teor foliar e produção, conforme pode ser observado na Figura 1.



Fonte: Malavolta et al. (1997).

Figura 1. Representação geral da relação entre teor foliar e produção (ou matéria seca).

- a. Curva em “c”- aumento da produção e queda do teor foliar: isto pode acontecer, por exemplo, quando a velocidade de produção de matéria seca é maior que a de absorção ou transporte do elemento, que fica diluído;
- b. Zona de dependência ou ajustamento: nesse segmento da curva, a premissa 3 é observada, muitas vezes havendo uma relação linear entre aumento no teor foliar e produção;
- c. Nível crítico inferior: zona geralmente estreita, abaixo da qual a produção é limitada;
- d. Zona de alimentação de luxo: mais comum no caso de macronutrientes, como potássio. O teor foliar aumenta sem aumentar a produção. Nesse caso há um desperdício de fertilidade ou de adubo aplicado;

- e. Nível crítico superior: zona que separa o patamar de colheita da zona de toxidez ou desequilíbrio;
- f. Zona de toxidez ou desequilíbrio: o teor foliar aumenta e a produção diminui, seja por efeito tóxico direto do elemento, seja porque outro ou outros elementos tornaram-se limitantes, aumentando exageradamente o quociente em que os dois aparecem no tecido.

De acordo com Martinez et al. (1999), a diagnose foliar procura associar e relacionar os teores foliares e a produção das culturas, e são três as etapas a serem cumpridas na aplicação da diagnose foliar: a primeira refere-se à normatização da amostragem, preparo das amostras e análise química do material vegetal; a segunda à obtenção dos padrões de referência comparativos; a terceira à interpretação dos resultados obtidos.

A coleta de amostras é a fase que mais influencia o resultado da análise foliar, sendo importante, antes da coleta das amostras de plantas problemas, excluir os fatores bióticos e abióticos que possam estar causando algum dano à planta (Fontes, 2001).

Os principais fatores responsáveis pela obtenção de diferentes teores de nutrientes na planta, de acordo com Fontes (2001), são: idade da planta; órgão analisado; cultivar; época do ano em que foi realizada a coleta; método de lavagem, extração e dosagem do nutriente na amostra; porcentagem de água no solo; hora do dia; inadequada produção de matéria seca pela planta devido a isoladas ou interativas imperfeições edáficas, climáticas, genotípicas e humanas.

A composição mineral da folha, ou os teores de elementos nela encontrados, é consequência do efeito dos fatores que atuaram e, às vezes, interagiram até o momento em que o órgão foi colhido para análise (ou mesmo depois da tomada da amostra) (Malavolta, 1992). Dados coletados por Malavolta (1992) mostram que os teores de nutrientes encontrados nas folhas de laranjeira alteraram de acordo com a idade da planta, sendo que os teores de N, P, K, Ca e Mg diminuíram com o aumento da idade da planta avaliada dos três aos dez meses de idade.

A posição da folha no ramo também pode alterar a concentração de nutrientes na folha, como mostram dados de Malavolta (1992) para plantas de cafeeiro. A presença de frutos, a época do ano, a quantidade de chuva e até mesmo a exposição à luz solar também podem influenciar a concentração de nutrientes na planta. Outras razões que estão diretamente associadas a essas alterações são as práticas culturais: adubações, espaçamento, aplicação de herbicidas, cobertura morta, entre outras. Essas práticas favorecem, ou não, o arejamento, o

crescimento radicular, a maior disponibilidade de nutrientes no solo, entre outros. Pragas e doenças também são causadores de alterações nas concentrações de nutrientes nas plantas, por influenciar na absorção, transporte a longa distância, distribuição nas folhas e por produzirem toxinas.

A redistribuição varia entre os nutrientes na planta. Assim, os teores adequados (níveis críticos) também podem variar com a idade da folha e da planta, em função dessa redistribuição. Com o aumento da idade da folha, há uma tendência dos teores dos nutrientes móveis diminuírem devido à migração para outros órgãos, ao contrário, para os imóveis e pouco móveis, a tendência é de aumento nos seus teores devido ao acúmulo. E esse aspecto leva a algumas implicações que devem ser consideradas na amostragem, como: o teor foliar adequado em uma época pode não ser o mesmo em outra; há, portanto, necessidade de padronização da amostragem considerando-se a idade da folha e da planta. As maiores diferenças na concentração de nutrientes entre espécies estão relacionadas com a acumulação de determinados compostos no citoplasma para funções osmóticas, e nos vacúolos com funções de reserva ou de defesa química (Faquin, 2002).

Na coleta de amostras, segundo Fontes (2001), quatro perguntas devem ser respondidas: quando, qual órgão, quanto e como. Essas perguntas devem ser respondidas, especificamente para cada cultura, considerando-se o padrão com o qual os resultados das análises serão comparados.

Assim, cada cultura apresenta um critério de amostragem específico e segundo as indicações de Malavolta et al. (1997), têm-se os critérios de amostragem para uma série de culturas, como exemplo, destaca-se:

- Soja: coletar a primeira folha amadurecida a partir da ponta do ramo, pecíolo excluído. Amostrar 30 folhas por hectare.
- Milho: coletar a folha oposta e abaixo da espiga, no aparecimento da inflorescência feminina (cabelo). Amostrar 30 folhas por hectare.
- Algodoeiro (herbáceo): coletar limbo de folhas adjacentes às “maçãs”, no início do florescimento. Amostrar 30 folhas por hectare.
- Seringueira: coletar três a quatro folhas recém-maduras, à sombra, na base do terço superior da copa, no verão-outono. Amostrar seis folhas por hectare.
- Eucalipto: coletar folhas recém-maduras, em ramos primários, no verão-outono. Amostrar 18 folhas por hectare.

- Pinus: coletar folhas (acículas) recém-maduras, em ramos primários, no verão-outono. Amostrar 18 folhas (acículas) por hectare.

Para melhor resultado da análise foliar, é recomendável que concomitantemente à retirada das amostras nas plantas com sintomas de deficiência, sejam também amostradas plantas normais, que poderão ser utilizadas como padrão (Fontes, 2001).

Segundo Faquin (2002), após a obtenção da amostra no campo, a fase seguinte deve ser realizada com o maior cuidado possível: é o seu preparo, acondicionamento e remessa para o laboratório. Todo o sucesso da análise química laboratorial depende, em grande parte, do procedimento de coleta do material e do tempo decorrido entre a coleta e a chegada. Recomenda-se que esse tempo seja o mais breve para que os processos de respiração e de decomposição não venham comprometer os resultados da análise. O ideal seria que a amostra chegasse ao laboratório no mesmo dia da coleta, acondicionada em saco plástico para transporte a baixa temperatura ou em sacos de papel. Se o tempo entre a coleta e chegada ao laboratório for superior a 24 horas, as amostras devem ser acondicionadas em sacos plásticos e colocadas em geladeira.

Toda amostra deve ser identificada e caracterizada. Além disso, quanto mais detalhada a descrição dos fatores gerenciais, genotípicos, biológicos, edáficos e climáticos prevalentes no sistema de produção de onde foram retiradas as amostras, mais preciso será o diagnóstico (Fontes, 2001).

A diagnose foliar via análise química permite a avaliação do estado nutricional, isto é, permite identificar o nível de comprometimento da produtividade, em função da situação nutricional, principalmente em casos extremos. A interpretação correta dos resultados de uma análise depende de muita experimentação para o estabelecimento de índices de calibração que reflitam o estado nutricional das plantas (Bataglia, 1997).

Segundo Fontes (2001), interpretar os resultados da análise foliar significa comparar o valor da concentração de cada nutriente na amostra analisada com a concentração considerada padrão ou ótima. A interpretação da análise foliar é calcada em três premissas:

- Relação entre a concentração do nutriente em determinada parte da planta e o desempenho da cultura naquele momento ou no futuro;
- Determinada concentração ou faixa ideal de concentração do nutriente, na matéria seca de parte da planta, associada com o máximo desempenho da cultura;

- Possibilidade de comparar a concentração de determinado nutriente na amostra enviada ao laboratório com a concentração desse nutriente em plantas normais ou com padrões tabelados.

O valor padrão tabelado, segundo Malavolta (1997), deve ser obtido a partir da análise de plantas normais, produtivas e crescidas em condições controladas, ou não. Na Tabela 4 são apresentados teores de macro e micronutrientes considerados adequados para essências florestais.

A análise química propicia os valores das concentrações dos principais nutrientes nas amostras analisadas, os quais são interpretados, geralmente, por comparações com os valores fornecidos em tabelas. Os resultados podem ser interpretados por diferentes procedimentos ou métodos. Dentre eles, destacam-se os univariados (teste de médias, desvio ótimo porcentual (DOP), nível crítico (NC) e faixa de suficiência (FS)); e os bivariados (DRIS e PASS) (Fontes, 2001).

Tabela 4. Teores totais de macronutrientes e micronutrientes considerados adequados para as principais essências florestais.

Cultura	Macronutrientes (g.kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Araucária	16,0-17,0	1,4-1,8	13,0-15,0	6,0 - 8,0	2,0-3,0	1,5-2,0
Eucalipto	14,0-16,0	1,0-1,2	10,0-12,0	8,0-12,0	4,0-5,0	1,5-2,0
Pinus	12,0-13,0	1,4-1,6	10,0-11,0	3,0 - 5,0	1,5-2,0	1,4-1,6
Pupunheira	35,0	2,0	11,0	4,0	3,0	2,0
Seringueira	26,0-35,0	1,6-2,3	10,0-14,0	7,6 - 8,2	1,7-2,4	1,8-2,6
	Micronutrientes (mg.kg ⁻¹)					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Araucária	10,0	3,0	25,0	4,0	-	5,0
Eucalipto	40,0-50,0	8,0-10,0	150,0-200,0	100,0-600,0	0,5 - 1,00	40,0-60,0
Pinus	20,0-30,0	5,0 - 8,0	50,0-100,0	200,0-300,0	0,10-0,30	34,0-40,0
Pupunheira	30,0	9,0	126,0	142,0	-	23,0
Seringueira	20,0-70,0	10,0-15,0	70,0 - 90,0	15,0 - 40,0	1,5 - 2,00	20,0-30,0

Fonte: Malavolta et al. (1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EXPERIMENTO 1 – EFEITOS DA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE NUTRIENTES EM MUDAS DE *Khaya ivorensis* A PARTIR DA EMERGÊNCIA DAS PLÂNTULAS

O experimento foi conduzido em viveiro localizado na BR 060 km 06, Setor Recreio dos Funcionários Públicos, em Goiânia, GO, nas coordenadas geográficas de 16°42'27" de latitude Sul, 49°21'01" de longitude Oeste, e 764 metros de altitude. A região encontra-se na Bacia do Paranaíba, com clima do tipo Aw (Clima Tropical com estação seca de inverno), segundo a classificação de Köppen. Apresenta precipitações médias anuais entre 1.200 e 1.800 mm, com período chuvoso de novembro a março e o período seco, de junho a agosto, com abril, maio e setembro representando os meses de transição pluviométrica. A temperatura máxima média no ano é de 40 °C e mínima média é de 11 °C (Sepin, 2003).

As mudas avaliadas nesta pesquisa foram obtidas de sementes de mogno africano (*Khaya ivorensis*), com germinação acima de 90%, oriundas de árvores adultas cultivadas no município de Paragominas, no estado do Pará.

As mudas foram avaliadas quanto ao desenvolvimento em altura, diâmetro do caule na região do coleto e comprimento de raiz. Os procedimentos de pesagem de matéria verde (FV) e avaliação de índice de área foliar (IAF) também foram realizados nas instalações do viveiro.

As folhas coletadas nas plantas foram secas em estufa, pesadas e analisadas quanto aos teores de macronutrientes e micronutrientes no Laboratório de Análises de Solos e Foliar (LASF) da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia-GO.

3.1.1 Recipiente, substrato e estrutura física

A semeadura foi realizada no dia 19 de janeiro de 2011, em tubetes de polipropileno com capacidade para 3,8 litros (Citrospote), contendo como substrato areia grossa lavada.

Os tubetes foram colocados sobre mesas metálicas que, inicialmente, permaneceram em casa de vegetação, com temperatura e umidade controladas.

Foram semeadas seis sementes por tubete. A germinação iniciou-se aos treze dias após a semeadura (DAS), tendo-se obtido 94% de emergência de plântulas aos 21 dias após a semeadura. A partir dessa época foram selecionadas três plântulas de mogno africano em cada tubete, considerando-se as mais vigorosas e melhor posicionadas no recipiente. Aos 45 dias após a semeadura, as mudas em desenvolvimento nos tubetes foram retiradas da casa de vegetação e colocadas sob sombrite com 50% de sombreamento, para aclimação, onde permaneceram por 22 dias. Após esse período foram transferidas para o meio externo, em condição a pleno sol.

O substrato nos tubetes, na fase de pré-emergência das plântulas, e as plântulas até aos 60 DAS, receberam irrigação diária somente com água deionizada. Após esse período as plantas passaram a ser irrigadas diariamente com diferentes soluções nutritivas, que constituíram os tratamentos do ensaio.

3.1.2 Soluções nutritivas

As composições das soluções nutritivas foram obtidas a partir de soluções estoques preparadas no Laboratório de Análises de Solos e Foliar (LASF), adaptadas de acordo com Sarruge (1975) e Jacobson (1951). As concentrações de nutrientes e fontes utilizadas para a fertirrigação das plantas encontram-se na Tabela 5.

3.1.3 Tratamentos

Os tratamentos avaliados nas parcelas foram os seguintes: T1-Solução completa (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, boro, cobre, manganês, zinco e molibdênio); T2-Solução completa, com omissão de N; T3-Solução completa, com omissão de P; T4-Solução completa, com omissão de K; T5-Solução completa, com omissão de Ca; T6-Solução completa, com omissão de Mg; T7-Solução completa, com omissão de S; T8-Solução completa, com omissão de Fe; T9-Solução completa, com omissão de B; T10-Solução completa, com omissão de Cu; T11-Solução completa, com omissão de Mn; T12-Solução completa, com omissão de Zn; T13-Solução completa, com omissão de Mo; e T14-Água deionizada (sem nutrientes).

Tabela 5. Composição das soluções nutritivas, em mL.L⁻¹, utilizadas em mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) para a avaliação de deficiências nutricionais.

Solução estoque	Tratamentos												
	Omissão de nutriente (mL.L ⁻¹)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 mol.L ⁻¹	Completo	- N	- P	- K	- Ca	- Mg	- S	- Fe	- B	- Cu	- Mn	- Zn	- Mo
KH ₂ PO ₄	1	1	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KNO ₃	5	-	5	-	5	3	3	5	5	5	5	5	5
Ca(NO ₃) ₂	5	-	5	5	-	4	4	5	5	5	5	5	5
MgSO ₄	2	2	2	2	2	-	-	2	2	2	2	2	2
KCl	-	5	1	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-
CaCl ₂	-	5	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
NH ₄ H ₂ PO ₄	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH ₄ NO ₃	-	-	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-
(NH ₄)SO ₄	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
Mg(NO ₃) ₂	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Micronutrientes													
Micro - Fe ¹	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Micro - B	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Micro - Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Micro - Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Micro - Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Micro - Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Fe-EDTA ²	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1

¹ Solução Estoque de Micronutrientes: 2,86 g.L⁻¹ de H₃BO₃; 20,820 g.L⁻¹ de MnCl₂.4H₂O; 0,146 g.L⁻¹ de ZnCl₂ 3H₂O; 0,055 g.L⁻¹ de CuCl₂2H₂O; 0,027 g.L⁻¹ de Na₂MoO₄.2H₂O.

² Fe-EDTA: 33,2 g.L⁻¹ de EDTA; 89,2 g.L⁻¹ de NaOH; 24,9 g.L⁻¹ de FeSO₄.

As plantas foram irrigadas diariamente com 200 ml de solução nutritiva, sendo aplicados 100 ml no período da manhã e 100 ml no período da tarde. As soluções nutritivas eram renovadas a cada 20 dias, até tornarem-se evidentes os sintomas de carências nutricionais.

3.1.4 Características avaliadas

Os dados referentes à altura total e diâmetro na região do coleto das plantas foram obtidos a cada quinze dias nas três plantas de cada tubete, utilizando régua e paquímetro

metálico (precisão de 0,05 mm), enquanto a matéria verde da parte aérea e das raízes foi pesada em balança digital (precisão de 0,1 g) ao final do experimento. Além desses dados, as plantas também foram fotografadas para caracterizar os sintomas de deficiências nutricionais, comparativamente entre os diferentes tratamentos.

Os sintomas de deficiência dos nutrientes nas plantas de mogno africano foram descritos desde o estágio inicial até tornarem-se bem definidos, aos 210 dias após a semeadura, quando as plantas foram retiradas dos tubetes juntamente com o substrato.

Para facilitar a separação das raízes, procedeu-se uma lavagem bastante cuidadosa com água deionizada para eliminar o torrão, deixando as raízes livres. Em seguida, as plantas foram colocadas para secar em condições naturais durante 20 minutos e ao término deste período foram realizadas as medidas de altura total, diâmetro do coleto e comprimento da raiz principal.

Após a obtenção desses dados, as folhas das plantas foram separadas sem o pecíolo e medidas individualmente em medidor de área foliar para determinação do índice de área foliar (IAF), pesadas para determinação da matéria verde e colocadas para secar em estufa com temperatura de 65 °C e ventilação forçada, até obtenção do peso constante. Os caules, juntamente com os pecíolos, e as raízes, também foram pesados e colocados para secar em estufa a 65 °C e com ventilação forçada, até obter peso constante.

Após a secagem, as folhas, os caules com os pecíolos, e as raízes foram pesados separadamente para determinação da massa de matéria seca e as folhas foram moídas para obtenção dos teores de macronutrientes e micronutrientes em laboratório. Não foram realizadas análises para determinação dos teores de enxofre e boro, em função da falta de material.

3.1.5 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatorze tratamentos, dez repetições e parcelas de três plantas por tubete. A análise estatística consistiu da análise de variância, com aplicação do teste F e, nos casos de efeitos significativos, aplicou-se o teste Tukey a 1 % e a 5% de probabilidade, utilizando o Programa Sanest (1995).

3.2 EXPERIMENTO 2 - EFEITOS DA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE *Khaya ivorensis* EM MUDAS MADURAS EM VIVEIRO

O experimento foi conduzido em viveiro localizado na BR 060 km 06, Setor Recreio dos Funcionários Públicos, em Goiânia, GO, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 16°42'27"S, longitude 49°21'01"W e altitude de 764 metros. A região encontra-se na Bacia do Paranaíba, com clima do tipo Aw (Clima Tropical com estação seca de inverno), segundo a classificação de Köppen. Apresenta precipitações médias anuais entre 1.200 e 1.800 mm, o período chuvoso estende-se de novembro a março e o período seco, de junho a agosto, com os meses de abril, maio e setembro representando os meses de transição. A temperatura máxima média é de 40° C e mínima média de 11° C (Sepin, 2003).

Foram utilizadas sementes de mogno africano (*Khaya ivorensis*), com germinação superior a 90% oriundas de árvores adultas cultivadas no município de Paragominas, no estado do Pará, para a produção das mudas avaliadas nesta pesquisa.

Os dados dendrométricos das plantas no viveiro, referentes ao diâmetro do coleto e altura total, foram avaliados com o auxílio de paquímetro metálico (precisão de 0,05 mm) e régua, respectivamente. O procedimento de pesagem da matéria verde (FV) foi realizado em balança digital (precisão de 0,1 g), nas instalações do viveiro.

As folhas coletadas nas plantas foram secas em estufa, pesadas e analisadas quimicamente no Laboratório de Análises de Solos e Foliar (LASF) da Escola de Agronomia (EA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), em Goiânia-GO.

3.2.1 Mudanças utilizadas

Foram utilizadas mudas comerciais de mogno africano (*Khaya ivorensis*) produzidas no Viveiro Mudas Nobres, provenientes de sementes oriundas de árvores adultas cultivadas no município de Paragominas no Estado do Pará. Para a produção de mudas comerciais o viveiro utiliza tubetes de polipropileno com capacidade para 180 cm³ de substrato comercial (Ouro Negro Germinação) constituído por 40% de casca de pinus, 20% de fibra e pó de coco, 30% de cinza de bagaço de cana e 10% de vermiculita. As adubações foram realizadas (via irrigações) a cada dez dias durante todo o período de desenvolvimento das mudas, até estas atingirem o ponto de plantio a, aproximadamente, 150 dias após a semeadura. O experimento foi conduzido utilizando-se mudas selecionadas, sadias e homogêneas quanto ao porte e vigor.

3.2.2 Recipiente, substrato e estrutura física

O transplântio das mudas ocorreu aos 125 dias após a emergência, no dia 29 de abril de 2011, sendo estas retiradas dos tubetes de 180 cm³ e transferidas para tubetes de polipropileno com capacidade para 3,8 litros (Citrospote) contendo como substrato areia grossa lavada. Após serem retiradas do tubete, procedeu-se a lavagem das raízes das mudas com água deionizada para retirada do torrão e parte das folhas foi cortada para diminuir a transpiração. Os tubetes e as mudas transplantadas foram acondicionadas em mesas metálicas e mantidas em casa de vegetação por quinze dias, sendo irrigadas apenas com água. Após esse período em casa de vegetação, as plantas permaneceram sob sombrite (50%) por sete dias para iniciar o processo de rustificação e, posteriormente, foram colocadas a pleno sol, sendo irrigadas diariamente com solução nutritiva (Tabela 6).

3.2.3 Soluções nutritivas

As composições das soluções nutritivas foram obtidas a partir de soluções estoques preparadas no Laboratório de Análises de Solos e Foliar (LASF) (EA/UFG), adaptadas de acordo com Sarruge (1975) e Jacobson (1951). As concentrações de nutrientes e fontes utilizadas para a fertirrigação das plantas encontram-se na Tabela 6.

3.2.4 Tratamentos

Os tratamentos avaliados nas parcelas foram os seguintes: T1-Solução completa (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, boro, cobre, manganês, zinco e molibdênio); T2-Solução completa, com omissão de N; T3-Solução completa, com omissão de P; T4-Solução completa, com omissão de K; T5-Solução completa, com omissão de Ca; T6-Solução completa, com omissão de Mg; T7-Solução completa, com omissão de S; T8-Solução completa, com omissão de Fe; T9-Solução completa, com omissão de B; T10-Solução completa, com omissão de Cu; T11-Solução completa, com omissão de Mn; T12-Solução completa, com omissão de Zn; T13-Solução completa, com omissão de Mo; T14-Água deionizada (sem nutrientes).

As plantas foram irrigadas diariamente com 200 ml de solução nutritiva, sendo aplicados 100 ml no período da manhã e 100 ml no período da tarde. As soluções nutritivas eram renovadas a cada 20 dias, até tornarem-se evidentes os sintomas de carências nutricionais.

Tabela 6. Composição das soluções nutritivas, em mL.L^{-1} , utilizadas em mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) para a avaliação de deficiências nutricionais.

Solução estoque	Tratamentos												
	Omissão de nutriente (mL.L^{-1})												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 mol.L^{-1}	Completo	- N	- P	- K	- Ca	- Mg	- S	- Fe	- B	- Cu	- Mn	- Zn	- Mo
KH_2PO_4	1	1	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
KNO_3	5	-	5	-	5	3	3	5	5	5	5	5	5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	5	-	5	5	-	4	4	5	5	5	5	5	5
MgSO_4	2	2	2	2	2	-	-	2	2	2	2	2	2
KCl	-	5	1	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-
CaCl_2	-	5	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH_4NO_3	-	-	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-	-
$(\text{NH}_4)\text{SO}_4$	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Micronutrientes													
Micro - Fe^1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
Micro - B	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
Micro - Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
Micro - Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Micro - Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Micro - Mo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Fe-EDTA ²	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1

¹ Solução Estoque de Micronutrientes: $2,86 \text{ g.L}^{-1}$ de H_3BO_3 ; $20,820 \text{ g.L}^{-1}$ de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $0,146 \text{ g.L}^{-1}$ de $\text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $0,055 \text{ g.L}^{-1}$ de $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $0,027 \text{ g.L}^{-1}$ de $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

² Fe-EDTA: $33,2 \text{ g.L}^{-1}$ de EDTA; $89,2 \text{ g.L}^{-1}$ de NaOH; $24,9 \text{ g.L}^{-1}$ de FeSO_4 .

3.2.5 Características avaliadas

Os dados referentes à altura total e ao diâmetro na região do coleto das plantas foram obtidos a cada quinze dias até o final dos ensaios. As avaliações foram iniciadas no dia 08 de julho de 2011, aos 68 dias após o transplante, por ocasião do aparecimento dos primeiros sintomas visuais, e as plantas foram fotografadas para caracterização dos sintomas de deficiências nutricionais.

Os sintomas de deficiência dos nutrientes nas mudas foram descritos desde o estágio inicial até tornarem-se bem definidos, aos 220 dias após o transplântio destas, quando foram retiradas dos tubetes.

Ao final do experimento, as folhas foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada a 65°C, até peso constante. Após a secagem, todo o material foi pesado para determinação da massa de matéria seca (MMS) e moído para determinação dos teores de macronutrientes e micronutrientes em laboratório. Não foram realizadas análises para determinação dos teores de enxofre e boro, em função da falta de material.

3.2.6 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatorze tratamentos, dez repetições e parcelas de uma planta por tubete. A análise estatística consistiu da análise de variância, com aplicação do teste F e, quando constatadas diferenças significativas, aplicou-se o teste Tukey a 1% e a 5% de probabilidade, utilizando-se o Programa Sanest (1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO 1 – EFEITOS DA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE NUTRIENTES EM MUDAS DE *Khaya ivorensis* A PARTIR DA EMERGÊNCIA DAS PLÂNTULAS

4.1.1 Efeitos no desenvolvimento das plantas

As análises de variância acusaram efeitos significativos dos tratamentos caracterizados pela presença e ausência de nutrientes na solução nutritiva em todas as variáveis relativas ao desenvolvimento das mudas (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo das análises de variância para altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC), índice de área foliar (IAF), comprimento da raiz (CR) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), das raízes (MSR) e total (MST) de mudas de *Khaya ivorensis* submetidas a diferentes tratamentos com presença e ausência de nutrientes na solução nutritiva, a partir dos 60 dias após a semeadura.

Causas de variação	GL	Valores do quadrado médio do resíduo e níveis de significância pelo teste F							
		AP (cm)	DC (mm)	IAF (cm ²)	CR (cm)	MSF (g)	MSC (g)	MSR (g)	MST (g)
Tratamento	13	53,63**	4,13**	54.245,3**	85,62**	4,74**	2,5**	1,90**	29,02**
Resíduo	126	4,5	0,37	2.496,04	15,5	0,32	0,17	0,22	1,72
Total	139								
CV (%)		11,5	15,6	33,9	14,1	15,4	12,0	13,5	11,4

** Valores significativos pelo teste F a 1% de probabilidade.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados de altura total, diâmetro de coleto, índice de área foliar (IAF) e comprimento de raiz de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) nos diferentes tratamentos, em função da presença e ausência de nutrientes na solução nutritiva. Observa-se a redução significativa da altura das plantas nos tratamentos com omissão de B, P, Cu, Fe, N e Testemunha, quando comparados ao tratamento Completo. Em ordem crescente, esses tratamentos apresentaram as maiores reduções na altura das plantas. Em relação ao diâmetro do coleto, os tratamentos com omissão de Cu, Mo, Zn, B, Fe, N, P e testemunha apresentaram os menores valores, diferindo significativamente do tratamento completo.

Tabela 8. Altura total, diâmetro do coleto, Índice de Área Foliar (IAF) e comprimento da raiz de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) aos 210 dias após a semeadura, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Viveiro Mudas Nobres. Goiânia, GO. 2011.

Tratamentos	Altura da planta (cm)	Diâmetro do coleto (mm)	IAF (cm ²)	Comprimento da raiz (cm)
1-Completo	21,40 ^{abc}	4,80 ^a	231,60 ^{ab}	29,30 ^{abc}
2-Omissão de nitrogênio	16,00 ^{ef}	3,30 ^{efg}	53,90 ^f	27,90 ^{abcd}
3-Omissão de fósforo	17,30 ^{de}	3,20 ^{fg}	43,70 ^f	24,50 ^{cd}
4-Omissão de potássio	19,20 ^{abcde}	4,30 ^{abcd}	192,50 ^{abcd}	28,90 ^{abc}
5-Omissão de cálcio	22,10 ^a	4,70 ^{ab}	241,70 ^a	25,90 ^{bcd}
6-Omissão de magnésio	21,50 ^{ab}	4,80 ^a	229,10 ^{ab}	28,80 ^{abc}
7-Omissão de enxofre	18,20 ^{cde}	4,20 ^{abcde}	176,50 ^{abcd}	31,00 ^{ab}
8-Omissão de ferro	17,20 ^{de}	3,40 ^{defg}	85,50 ^{ef}	25,70 ^{bcd}
9-Omissão de boro	17,30 ^{de}	3,60 ^{cdefg}	137,10 ^{de}	25,40 ^{bcd}
10-Omissão de cobre	17,20 ^{de}	3,80 ^{bcdef}	131,00 ^{de}	30,20 ^{abc}
11-Omissão de manganês	19,40 ^{abcd}	4,50 ^{abc}	215,10 ^{abc}	31,10 ^{ab}
12-Omissão de zinco	18,44 ^{bcde}	3,60 ^{cdefg}	158,20 ^{bcde}	32,40 ^a
13-Omissão de molibdênio	19,23 ^{abcde}	3,80 ^{bcdef}	151,30 ^{cde}	28,80 ^{abc}
14-Testemunha	13,50 ^f	2,80 ^g	18,70 ^f	22,00 ^d
CV (%)	11,5	15,6	33,8	14,0

*Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Os resultados encontrados nesta pesquisa são concordantes, em parte, com os obtidos por Maffeis et al. (2000) que observaram que a omissão de N, Ca, Mg, S e B induziram menor crescimento em altura em relação ao tratamento com solução completa, em mudas de *Eucalyptus citriodora*. Em relação ao diâmetro, esses autores observaram redução significativa apenas para o tratamento com omissão de N.

Na deficiência de N, a divisão celular nos pontos de crescimento é retardada, causando uma redução na área foliar e no tamanho da planta. Normalmente, o N é o nutriente mais exigido pelas culturas, uma vez que desempenha função estrutural nas moléculas dos aminoácidos, proteínas, enzimas, pigmentos e produtos secundários, e participa dos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, sínteses, multiplicação e diferenciação celular e herança (Faquin, 2005; Malavolta et al., 1997).

Segundo Batista et al. (2003), as omissões de macronutrientes reduziram a

altura e o diâmetro de caule das plantas de graviola, sendo os tratamentos com omissão individual de N, Ca e P os mais afetados, quando comparados com o tratamento completo. Os resultados encontrados por esses autores, para N e P, concordam com os resultados encontrados nesta pesquisa.

Avaliando plantas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), Gonçalves et al. (2006) observaram as maiores reduções em altura nos tratamentos com omissão de Ca, N e Mg. Em relação ao diâmetro do coleto, as maiores reduções foram observadas nos tratamentos com omissão de Ca, N, Mg e K. Rodrigues Filho et al. (1988), em experimento com amendoim (*Arachis hypogaea* L.), observaram menores alturas de plantas nos tratamentos com omissão de K, S, Mg, Ca e N, sendo que o tratamento com omissão de N apresentou redução de 81%, quando comparado ao tratamento completo. Esses resultados divergem, em parte, dos encontrados no presente trabalho, onde os tratamentos com omissão de Ca e Mg obtiveram os melhores resultados de crescimento em altura e diâmetro de coleto, sugerindo que a falta temporária desses elementos têm menos influência no crescimento das plantas de *K. ivorensis*.

Os resultados obtidos para os micronutrientes estão de acordo com os observados por Neves et al. (2004) em experimento com umbuzeiro tendo constatado que a omissão dos micronutrientes influenciou negativamente a altura das plantas, resultando em plantas menores, sendo o B e o Fe os que mais comprometeram o desenvolvimento em altura das plantas, quando comparados com o tratamento completo. Neves et al. (2004) destacam que plantas cultivadas com omissão de Fe e B apresentaram caules menos espessos, porém, não diferindo significativamente daquelas plantas cultivadas em condição de omissão simultânea de Zn e Cu. Esse comportamento indica que há maior exigência em Fe e B no desenvolvimento inicial das mudas, já que eles foram limitantes ao crescimento em altura. O maior diâmetro de caule foi observado nas mudas do tratamento sem Mn.

Segundo observações de Moretti et al. (2011), dentre os micronutrientes omitidos, o cobre foi o que mais limitou o crescimento inicial em altura de plantas de cedro australiano (*Toona ciliata*), corroborando com os resultados obtidos para o mogno africano (*K. ivorensis*) nesta pesquisa.

É importante enfatizar que o tratamento Testemunha sempre apresentou menor crescimento em altura e diâmetro de coleto, justificando, assim, a importância da aplicação de nutrientes para o desenvolvimento das plantas de *K. ivorensis*.

Observa-se, na Tabela 7, que os tratamentos com omissão de Mo, B, Cu, Fe, N,

P e testemunha apresentaram as maiores reduções em área foliar, quando comparados com o tratamento completo. Com relação ao comprimento de raiz, o tratamento testemunha foi o único que diferiu significativamente do tratamento completo.

Avaliando os efeitos dos nutrientes em plantas de feijoeiro, Malavolta et al. (1980) observaram que o tratamento com omissão de Ca foi o que mais reduziu o crescimento e o número de folhas nas plantas, divergindo dos resultados encontrados nesta pesquisa, em que o tratamento com omissão de Ca apresentou maiores valores de área foliar nas plantas de *K. ivorensis*.

Os valores de matéria seca de folha, caule, raiz e matéria seca total, de plantas de *K. ivorensis*, avaliados aos 210 dias após a semeadura (DAS) nos diferentes tratamentos, estão na Tabela 9.

Tabela 9. Matéria seca de folha, caule, raiz e total de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*), aos 210 dias após a semeadura, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Viveiro Mudás Nobres. Goiânia, GO, 2011.

Tratamentos	Matéria Seca (g)			
	Folha	Caule	Raiz	Total
1-Completo	3,90 ^{bcdef}	4,00 ^a	3,90 ^{ab}	12,50 ^{abcd}
2-Omissão de nitrogênio	3,00 ^g	3,00 ^d	3,00 ^c	9,50 ^{fg}
3-Omissão de fósforo	3,00 ^g	3,00 ^d	3,00 ^c	9,50 ^{fg}
4-Omissão de potássio	4,00 ^{bcde}	3,70 ^{abc}	3,70 ^{abc}	12,10 ^{bcde}
5-Omissão de cálcio	4,90 ^a	4,10 ^a	4,20 ^a	14,20 ^a
6-Omissão de magnésio	4,70 ^{ab}	4,10 ^a	4,00 ^{ab}	13,50 ^{abc}
7-Omissão de enxofre	4,30 ^{abcd}	3,80 ^{ab}	3,90 ^{ab}	12,90 ^{abc}
8-Omissão de ferro	3,10 ^{fg}	3,00 ^d	3,00 ^c	10,20 ^{efg}
9-Omissão de boro	3,20 ^{efg}	3,00 ^d	3,30 ^{bc}	10,60 ^{defg}
10-Omissão de cobre	3,10 ^{fg}	3,10 ^{cd}	3,10 ^c	10,70 ^{defg}
11-Omissão de manganês	4,60 ^{abc}	4,30 ^a	4,00 ^{ab}	13,90 ^{ab}
12-Omissão de zinco	3,70 ^{defg}	3,20 ^{bcd}	3,60 ^{abc}	11,50 ^{cdef}
13-Omissão de molibdênio	3,80 ^{cdefg}	3,70 ^{abc}	3,40 ^{bc}	11,50 ^{cdef}
14-Testemunha	3,00 ^g	3,00 ^d	3,00 ^c	9,00 ^g
CV (%)	15,3	11,9	13,5	11,3

*Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Observa-se que os tratamentos com omissão de N, P e testemunha apresentaram os menores valores para matéria de folha, diferindo estatisticamente dos valores obtidos no tratamento completo. Para a matéria de caule, os menores valores foram observados nos tratamentos com omissão de N, P, Fe, B, Cu, Zn e testemunha, que diferiram significativamente dos valores do tratamento completo. Para matéria de raiz houve diferenças significativas nos tratamentos com omissão de Cu, Fe, N, P e testemunha, quando comparados ao tratamento Completo. Em relação à matéria seca total, os menores valores foram observados nos tratamentos com omissão de Fe, N, P e testemunha, que apresentaram diferenças significativas em comparação com o tratamento completo.

Em plantas de umbuzeiro, Gonçalves et al. (2006) observaram que as omissões de N, K, Ca e Mg ocasionaram decréscimo na produção de matéria seca de raiz, folha, caule e total, em relação aos demais tratamentos. Sobre a produção de matéria seca total, a redução obedeceu a seguinte ordem decrescente: $Ca > N > K > Mg > S > P$. Silva et al. (2009) verificaram que os macronutrientes mais limitantes à produção de matéria seca total em pinhão-mansão (*Jatropha curcas*) foram Ca, Mg e K, em relação ao tratamento completo, e a ordem de limitação foi $Ca > Mg > K > N > P > S$, para macronutrientes. Esses resultados concordam, em parte, com os encontrados nesta pesquisa, onde se observa que os tratamentos com omissão dos macronutrientes N e P ocasionaram decréscimos na produção de matéria seca, enquanto os tratamentos com omissão de Ca, Mg e S apresentaram os maiores valores de matéria seca equiparados ao tratamento Completo. Maffeis et al. (2000), também não observaram decréscimo na biomassa de *E. citriodora* cultivado com omissão de Ca, Mg e S, em comparação com o tratamento completo.

Os resultados encontrados nos tratamentos com omissão dos micronutrientes Zn, Cu, Fe e B são concordantes com os apresentados por Silva et al. (2009) que também observaram redução na matéria seca de pinhão-mansão com a omissão desses elementos.

4.1.2 Efeitos nos teores foliares dos nutrientes

Na Tabela 10 encontram-se os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg nas folhas de plantas de *K. ivorensis* submetidas aos diversos tratamentos. Constata-se que as omissões de N, P, K e Ca resultaram, respectivamente, em teores foliares significativamente menores desses elementos quando comparados com o tratamento completo. Porém, o teor foliar de Mg não foi reduzido com a omissão desse elemento na solução nutritiva. A omissão

de K acarretou teores mais elevados de P, Ca e Mg, as omissões de Ca e Mg resultaram maiores teores de P, a omissão de Fe propiciou maiores teores de P e Ca, enquanto as omissões de Zn e Mn reduziram os teores de K.

Tabela 10. Teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.

Tratamentos	Macronutrientes (g.kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
1-Completo	24,10 ^{abc}	3,40 ^{bc}	13,00 ^{abc}	15,50 ^{bc}	2,70 ^{bc}
2-Omissão de nitrogênio	17,40 ^d	2,40 ^{bc}	12,70 ^{abcd}	16,20 ^{bc}	2,60 ^{bc}
3-Omissão de fósforo	26,90 ^a	1,90 ^c	11,60 ^{cde}	23,30 ^{ab}	2,70 ^{bc}
4-Omissão de potássio	25,70 ^{ab}	7,60 ^a	7,20 ^f	24,30 ^{ab}	4,30 ^a
5-Omissão de cálcio	22,30 ^{abcd}	8,10 ^a	13,40 ^{ab}	7,00 ^c	2,90 ^{bc}
6-Omissão de magnésio	21,80 ^{abcd}	6,60 ^a	11,90 ^{bcde}	16,80 ^{abc}	2,60 ^{bc}
7-Omissão de enxofre	22,10 ^{abcd}	4,00 ^b	12,00 ^{bcde}	20,20 ^{ab}	3,10 ^{bc}
8-Omissão de ferro	25,60 ^{ab}	7,70 ^a	13,80 ^a	28,40 ^a	2,80 ^{bc}
9-Omissão de boro	22,30 ^{abcd}	3,30 ^{bc}	12,00 ^{bcde}	20,70 ^{ab}	3,20 ^{bc}
10-Omissão de cobre	22,60 ^{abcd}	3,30 ^{bc}	12,30 ^{abcde}	17,60 ^{abc}	2,90 ^{bc}
11-Omissão de manganês	19,60 ^{cd}	2,70 ^{bc}	10,90 ^e	15,80 ^{bc}	2,30 ^c
12-Omissão de zinco	20,50 ^{bcd}	4,10 ^b	11,20 ^{de}	23,40 ^{ab}	3,60 ^{ab}
13-Omissão de molibdênio	20,20 ^{bcd}	3,50 ^{bc}	11,80 ^{cde}	21,30 ^{ab}	3,40 ^{ab}
14-Testemunha	20,60 ^{bcd}	2,30 ^{bc}	10,90 ^e	27,30 ^{ab}	3,20 ^{bc}
CV (%)	17,0	29,2	8,7	39,0	22,7

*Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

De acordo com Moretti et al. (2011), os teores de Ca foram maiores nos tratamentos com omissão de K, N, S e P, e o teor de Mg foi maior no tratamento com omissão de K, em plantas de cedro australiano (*T. ciliata*). Resultados semelhantes foram obtidos na presente pesquisa, tendo-se observado que os teores de Ca foram maiores nos tratamentos com omissão de K e P, e o teor de Mg foi maior no tratamento com omissão de K. Os maiores teores de Ca e Mg, no tratamento com a omissão de K, pode estar associado à inibição competitiva existente entre os íons Ca, Mg e K no processo de absorção (Malavolta et al., 1997), e o mesmo aconteceu no tratamento com omissão de Ca, onde o teor de K foi maior.

A omissão de B, segundo Lange et al. (2005), interferiu nos teores de Ca nos tecidos de mamoneira analisados. Para Vieira et al. (2011), a omissão de Ca e K aumentaram a concentração de P em plantas de cerejeira. Essas observações corroboram os resultados encontrados na presente pesquisa.

Os teores de N e P encontrados em plantas de *K. ivorensis* foram maiores e os teores de K foram menores que os valores desses elementos observados por Moretti et al. (2011) em cedro australiano. A absorção de N foi favorecida pela omissão de K, assim como observado por Moretti et al. (2011).

Os teores totais de macronutrientes, para N de 26 a 35 g.kg⁻¹; P: 1,6 a 2,3; K: 10 a 14; Ca: 7,6 a 8,2; e Mg: 1,7 a 2,4 g.kg⁻¹, considerados por Malavolta et al. (1997) como adequados para a seringueira (*Hevea brasiliensis*) são os que mais se aproximam dos teores desses elementos encontrados no tratamento completo para o mogno africano (*K. ivorensis*).

Segundo Malavolta et al. (1997), os teores de macronutrientes, em g.kg⁻¹, considerados adequados para as essências florestais, são: N: 12 a 35; P: 1 a 2; K: 10 a 15; Ca: 3,0 a 8,2; e Mg: 1,5 a 5,0. Com exceção do K no tratamento com omissão de K, os teores de macronutrientes encontrados em *K. ivorensis* estão acima ou dentro da faixa de concentração indicada pela literatura, sugerindo que esta espécie, provavelmente, tem grande exigência nutricional.

A Tabela 11 apresenta os teores de micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn) analisados nas folhas de plantas de *K. ivorensis* submetidas aos diversos tratamentos. Verifica-se que os teores de ferro nas folhas de *K. ivorensis* foram significativamente menores nos tratamentos com omissão de N, Ca, Mg, Zn, Mn e Mo, quando comparados com o tratamento completo. Porém, o teor de ferro avaliado no tratamento com omissão de Fe não diferiu estatisticamente dos teores deste micronutriente no tratamento completo. Os teores de zinco foram reduzidos com a sua omissão e dos demais elementos, enquanto os teores de Mn foram aumentados com as omissões de P, K, Ca e Mg, e os teores de cobre elevados nos tratamentos com omissões de B, Mn, Zn, Mo e testemunha.

Segundo Moretti et al. (2011), o teor de Cu foi maior no tratamento com omissão de Zn, apontando uma possível diminuição da inibição competitiva entre o Zn e o Cu, favorecendo a absorção desse último, em cedro australiano.

No tratamento com omissão de cálcio foi obtido o maior teor de manganês nas folhas de *K. ivorensis* e seu valor diferenciou estatisticamente dos valores obtidos nos demais tratamentos. De acordo com Lange et al. (2005), a omissão de manganês reduz a concentração de ferro nos tecidos foliares e a omissão de ferro eleva a concentração de manganês, e a omissão de boro reduz a concentração de cálcio nos tecidos.

Tabela 11. Teores dos micronutrientes ferro, cobre, manganês e zinco nas folhas de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) supridas com solução nutritiva com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.

Tratamentos	Micronutrientes (mg.kg ⁻¹)			
	Fe	Cu	Mn	Zn
1-Completo	498,00 ^{ab}	2,30 ^{cd}	45,80 ^e	20,10 ^a
2-Omissão de nitrogênio	393,20 ^{cd}	2,10 ^d	42,80 ^e	12,50 ^b
3-Omissão de fósforo	457,90 ^{abcd}	2,50 ^{bcd}	94,30 ^d	10,30 ^{bc}
4-Omissão de potássio	451,20 ^{abcd}	2,70 ^{abcd}	220,50 ^b	10,90 ^{bc}
5-Omissão de cálcio	378,00 ^{cd}	3,00 ^{abcd}	270,90 ^a	9,30 ^{bc}
6-Omissão de magnésio	362,20 ^d	2,90 ^{abcd}	183,30 ^c	9,70 ^{bc}
7-Omissão de enxofre	473,70 ^{abc}	3,40 ^{abc}	52,50 ^e	8,90 ^{bc}
8-Omissão de ferro	430,10 ^{bcd}	3,30 ^{abc}	56,00 ^e	8,00 ^c
9-Omissão de boro	542,70 ^a	3,50 ^{ab}	53,60 ^e	10,90 ^{bc}
10-Omissão de cobre	408,60 ^{bcd}	2,90 ^{abcd}	35,50 ^e	9,40 ^{bc}
11-Omissão de manganês	364,20 ^d	3,70 ^a	35,40 ^e	8,60 ^{bc}
12-Omissão de zinco	369,10 ^d	3,80 ^a	35,00 ^e	8,10 ^{bc}
13-Omissão de molibdênio	362,00 ^d	3,50 ^{ab}	34,30 ^e	8,30 ^{bc}
14-Testemunha	506,90 ^{ab}	3,80 ^a	43,20 ^e	8,90 ^{bc}
CV (%)	15,9	25,0	26,6	28,5

* Médias seguidas de letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Os teores de micronutrientes, em mg.kg⁻¹, considerados adequados para as essências florestais, de acordo com Malavolta et al. (1997), são: B: 10 a 70; Cu: 3 a 15; Fe: 25 a 200; Mn: 4 a 600; Mo: 0,5 a 2,0; e Zn: 5 a 60. Os teores de ferro encontrados nesta pesquisa estão bem superiores aos descritos na literatura, sugerindo que *K. ivorensis* tem grande necessidade desse elemento. Os teores dos micronutrientes cobre, manganês e zinco analisados nas folhas se comportaram na faixa de concentração considerada adequada pela literatura, para espécies florestais.

4.1.3 Sintomas visuais das deficiências nutricionais

4.1.3.1 Nitrogênio

Conforme mostra a Figura 2, as plantas de mogno africano cultivadas em solução nutritiva com omissão de nitrogênio apresentaram desenvolvimento inferior, com caule fino e folhas pequenas. Após 40 dias de uso da solução nutritiva sem N, as plantas começaram a apresentar sintomas de deficiência. Esses sintomas foram observados primeiramente nas folhas mais velhas, com clorose seguida de necrose nas margens e senescência. Posteriormente, esses sintomas foram observados também nas folhas jovens que mostraram-se pequenas, com coloração vermelho-pálida. No decorrer dos dias, esses sintomas se tornaram generalizados em toda a planta, tendo-se observado, também, a pouca quantidade de novas brotações. Os sintomas observados são semelhantes aos descritos por Silva e Falcão (2002) para mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*) cultivadas em solução nutritiva na ausência de nitrogênio.

A redistribuição do N no interior da planta de *K. ivorensis* ficou bem evidenciada, uma vez que as folhas velhas foram as primeiras a apresentar os sintomas. Conforme descrito por Malavolta et al. (1997) e Faquin (2005), o N é facilmente redistribuído nas plantas via floema, na forma de aminoácidos. Quando o suprimento de N pelo meio é insuficiente, o N das folhas velhas é mobilizado para os órgãos e folhas mais novas. Consequentemente, plantas deficientes em N apresentam os sintomas primeiramente nas folhas velhas. Por esta razão, o amarelecimento das folhas velhas é o primeiro sintoma de uma inadequada nutrição da planta em nitrogênio.

Avaliando os sintomas de deficiência nutricional em cupuazeiro (*Theobroma grandiflorum*), Salvador et al. (1994) observaram que o primeiro sintoma a se manifestar foi o do N, aos 140 dias, tendo constatado, inicialmente, que as folhas mais velhas tornaram-se cloróticas. Com o decorrer do tempo, a clorose estendeu-se por toda planta, havendo, inclusive, paralisação de seu crescimento.

De acordo com Silva et al. (2009), que avaliaram o crescimento e caracterizaram os sintomas de deficiência de macro e micronutrientes em mudas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas*), o último sintoma a se manifestar foi o da omissão de N, sendo que a deficiência de N provocou severa diminuição no crescimento das plantas, quando comparado

ao crescimento das plantas tratadas com solução completa. O sintoma de deficiência de N caracterizou-se por clorose generalizada nas folhas mais velhas, seguida de necrose.

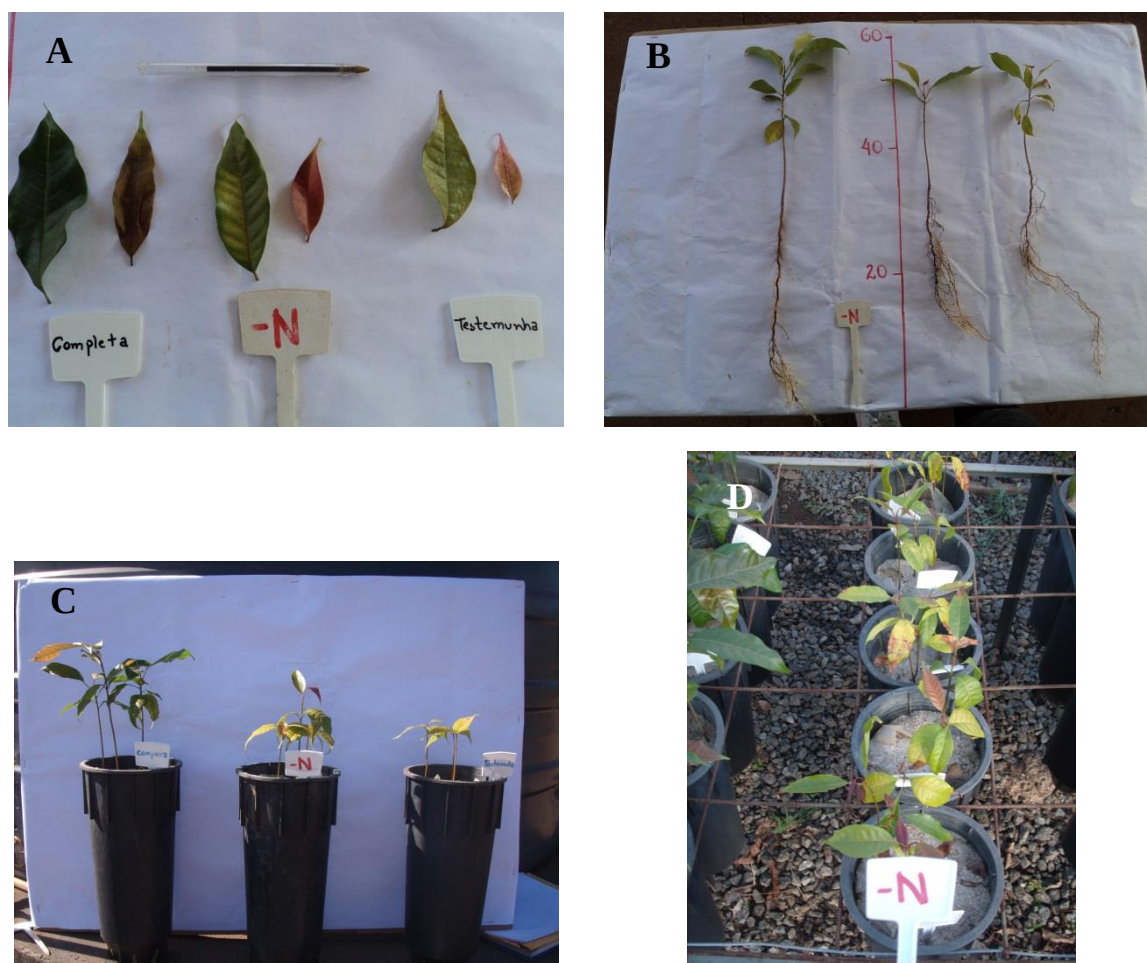


Figura 2. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de nitrogênio e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de nitrogênio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de nitrogênio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio. Goiânia-GO, 2011.

A coloração amarelada está associada à menor produção de clorofila e com modificações na forma dos cloroplastos (Malavolta et al., 1997). De acordo com Malavolta (2006), o N é o nutriente mais exigido, sendo constituinte de uma série de compostos com inúmeras funções na planta.

Objetivando avaliar o crescimento e caracterizar a sintomatologia de deficiências de macronutrientes em mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), Gonçalves et al. (2006)

observaram que com a omissão de N, as plantas manifestaram sintomas de deficiência desse nutriente a partir de 50 dias após o início do tratamento, com as folhas mais velhas perdendo gradualmente a tonalidade verde-escura e passando para verde-pálido, com posterior amarelecimento, distribuído uniformemente por todo o limbo foliar.

Segundo Silveira et al. (2002), os sintomas de deficiência de N em um híbrido de *Eucalyptus* spp, apresentaram-se aos trinta dias após sua omissão. As folhas mais velhas apresentavam coloração verde-claro, seguida de amarelecimento com pontuações avermelhadas distribuídas ao longo do limbo foliar, com avermelhamento total das folhas velhas. No estágio final da deficiência as folhas secaram e se destacaram dos ramos e do caule, ocorrendo paralisação da emissão de brotos. O caule e os ramos, nos estágios mais avançados da deficiência, também apresentaram avermelhamento, concluindo que a ausência de N ou de P ocasionou maior comprometimento no crescimento das plantas.

Avaliando os sintomas visuais de carências de macronutrientes em mudas de *Acacia holosericea*, Sarcinelli et al. (2004) observaram que o primeiro sintoma observado foi o de deficiência de N, o que evidencia a elevada demanda por este nutriente em espécies da família Leguminosae. Inicialmente, houve clorose de filódios velhos, uma vez que o N é bastante móvel no floema, e compõe a molécula de clorofila, que é o pigmento verde mais importante no processo fotossintético (Devlin, 1969, citado por Sarcinelli et al., 2004). No decorrer do tempo, houve senescência e queda de todos os filódios velhos que apresentaram clorose, e o sintoma começou a manifestar-se com menor intensidade.

4.1.3.2 Fósforo

As plantas cultivadas na ausência de fósforo já apresentaram os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após o início da irrigação com solução nutritiva. Foi constatada a redução em seu crescimento e de suas folhas novas, bem como coloração amarelada nas folhas velhas, seguida de necrose e secamento das pontas. As folhas mais novas perderam sua coloração vermelha, característica da espécie, apresentando pontuações mais escuras por todo o limbo. Gradativamente, com a idade das plantas, as folhas velhas apresentaram manchas cloróticas irregulares verde-limão por todo o limbo e as folhas jovens ficaram encarquilhadas, com coloração amarelo-acobreado. Seu crescimento ficou bastante comprometido (Figura 3).

Esses sintomas observados nas plantas de *K. ivorensis* estão, em parte, de acordo com aqueles relatados por Silva & Falcão (2002), como: redução no tamanho das folhas novas e amarelecimento das folhas velhas, seguida de necrose e secamento das pontas em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva com omissão de P.

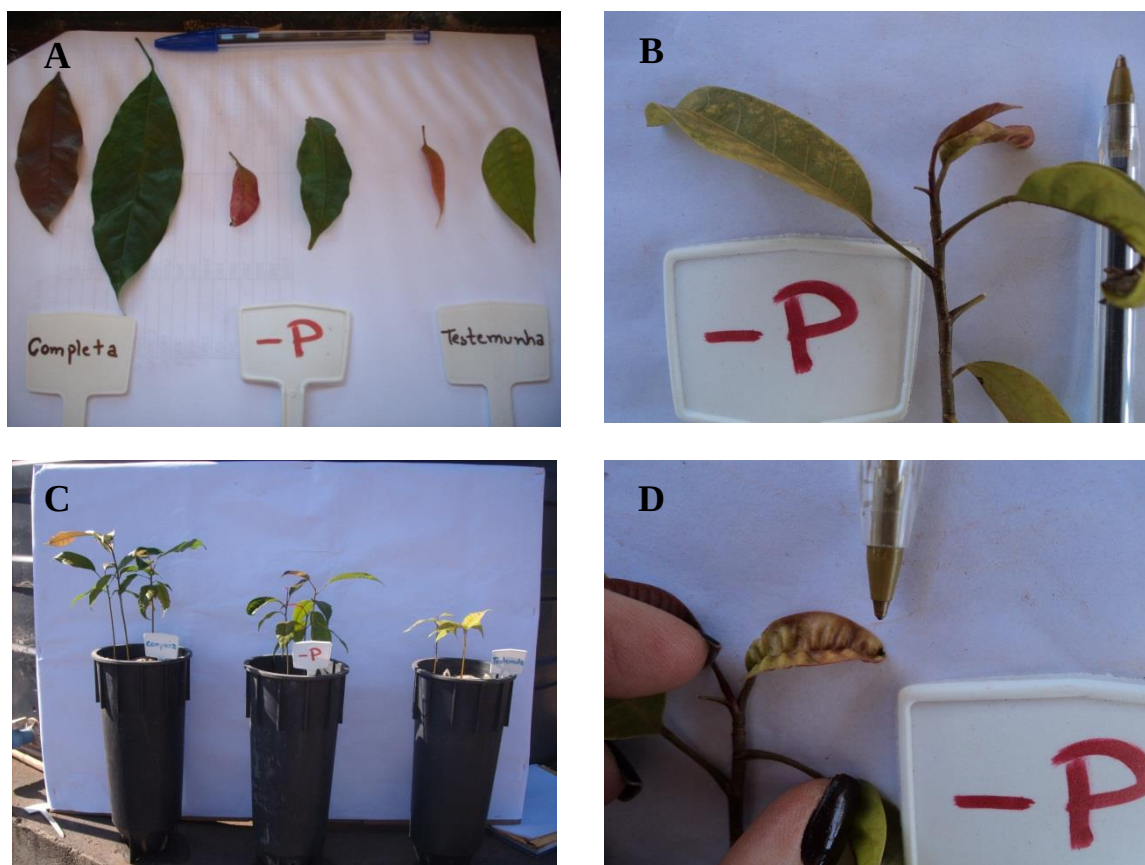


Figura 3. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de fósforo e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com omissão de fósforo; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de fósforo e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo. Goiânia-GO, 2011.

Em folhas de cerejeira (*Amburana acreana*) cultivadas com omissão de P, Vieira et al. (2011) verificaram que a coloração passou para verde claro, progredindo para amarelecimento bem acentuado e, posteriormente, para uma total perda de coloração das folhas, concordando com Barroso et al. (2005) que relataram os mesmos sintomas em teca (*Tectona grandis*), enquanto Vieira et al. (2011) constataram, também, o enrugamento das bordas foliares em mudas de cerejeira. Salvador et al. (1994) observaram manchas verde-

limão nas folhas velhas e encarquilhamento nas folhas jovens de mudas de cupuazeiro cultivadas em solução nutritiva com omissão de P.

Em plantas de umbuzeiro, Gonçalves et al. (2006) observaram coloração amarelada nas folhas velhas apenas no final do experimento, evidenciando a pequena necessidade de P requerida por essa espécie. Constataram, também, que houve alteração na arquitetura das plantas submetidas à ausência de P.

Sintomas diferentes foram descritos por Silva et al. (2009) em mudas de pinhão-mansão, constatando, a partir de 40 dias, o aparecimento de coloração arroxeada nos bordos e na parte abaxial das folhas velhas, evoluindo para necrose nas folhas afetadas, e por Silveira et al. (2002) que verificaram a cor verde-escuro seguida de arroxamento nas folhas velhas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* cultivadas na ausência de P.

Em mudas de gravioleira (*Annona muricata*) submetidas à carência de P, Batista et al. (2003) descreveram os sintomas observados inicialmente nas folhas superiores, as quais se apresentaram, em relação ao tratamento completo, mais estreitas, de tamanho reduzido, bordos curvados e ápices para baixo. As folhas inferiores, paralelas ao caule, apresentaram coloração verde-clara.

4.1.3.3 Potássio

As plantas submetidas ao tratamento com omissão de potássio começaram a apresentar os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após iniciar a irrigação com a solução nutritiva, tendo-se verificado a redução em seu crescimento total, e nas folhas novas e velhas. As folhas velhas, inicialmente, apresentaram clorose, seguida de necrose das pontas e margens. Esses sintomas foram progredindo até atingir as folhas intermediárias, que secaram a partir da ponta até a base (Figura 4).

Conforme descritos por Silva & Falcão (2002), sintomas semelhantes ocorreram em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva com omissão de potássio. Viégas et al. (2004), avaliando a nutrição em plantas de camucamuzeiro (*Myrciaria dubia*), também relataram que os sintomas de deficiência de potássio se caracterizaram, inicialmente, por pequenas necroses nos bordos e nos ápices das folhas mais velhas, as quais, com a intensidade da deficiência, evoluíram e formaram grandes manchas necróticas no limbo foliar.

Para Malavolta et al. (1997), o sintoma de deficiência nutricional de potássio se manifesta com o aparecimento de clorose e necrose nas margens das folhas velhas. Faquin (2005) atribui esse evento ao acúmulo de putrescina causado pela redução na síntese protéica e acúmulo de aminoácidos básicos em plantas deficientes em K.



Figura 4. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de potássio e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de potássio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de potássio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de potássio. Goiânia-GO, 2011.

Sintomas semelhantes de deficiência de potássio foram relatados por Salvador et al. (1994) em plantas de cupuazeiro, por Gonçalves et al. (2006) em umbuzeiro, por Silva et al. (2009) em pinhão-mansão, por Moretti et al. (2011) em cedro australiano e por Sarcinelli et al. (2004) em *Acacia holosericea*.

Avaliando mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, Silveira et al. (2002) observaram que as folhas mais velhas das plantas submetidas ao tratamento com

omissão de K apresentaram avermelhamento marginal que avançava para a parte central do limbo e, posteriormente, as folhas ficavam necrosadas.

Em mudas de mogno (*Swietenia macrophylla*), Wallau et al. (2008) observaram que quando houve omissão de K, as folhas velhas se caracterizaram por apresentar um encarquilhamento para baixo, ocorrendo plantas com porte reduzido e estabilização no crescimento.

4.1.3.4 Cálcio

Na ausência de cálcio, as plantas começaram a mostrar os primeiros sintomas de deficiência deste nutriente aos 60 dias após o início da irrigação com a solução nutritiva, apresentando folhas novas de tamanho reduzido e bordos ondulados para baixo. Até o final do experimento, não foi observada redução no crescimento total da planta. Com a evolução da deficiência, as folhas novas começaram a apresentar o formato de um gancho na extremidade e este evoluiu para necrose e secamento, no sentido da ponta até a base. A partir desse evento, as plantas passaram a emitir várias brotações na parte apical (Figura 5).

Omitindo-se o cálcio em plantas de mogno, Wallau et al. (2008) observaram redução no crescimento, clorose nas margens das folhas novas, que progrediu para necrose em toda a área foliar e colapso do pecíolo, com a queda das folhas em seguida.

Os resultados encontrados na presente pesquisa concordam, em parte, com os resultados obtidos por Salvador et al. (1994) em mudas de cupuaçu com a omissão de cálcio, tendo observado anormalidades visíveis, a partir das folhas mais novas que se mostravam, inicialmente, enrugadas e com bordos recurvados para cima, e apresentavam, também, clorose reticulada em todo o limbo. Com a evolução dos sintomas, houve uma queda prematura dessas folhas, surgindo, nas folhas jovens remanescentes, pontos necróticos entre as nervuras, que com a fusão desses, formaram grandes manchas limitadas pelas nervuras. As plantas sofreram redução no crescimento pela paralisação do desenvolvimento apical.

Pesquisando os possíveis efeitos da omissão de cálcio em mudas de umbuzeiro, Gonçalves et al. (2006) observaram que as raízes adquiriram uma coloração escurecida, ficaram grossas e pouco volumosas logo no início das avaliações, além de anormalidades visuais nas folhas mais novas e murchamento das gemas terminais, com posterior necrose. No limbo, no início, ocorreu necrose ao longo das margens, evoluindo para abscisão foliar.

Com a evolução da deficiência de cálcio, houve queda prematura das folhas e redução na produção de matéria seca.



Figura 5. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cálcio e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de cálcio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cálcio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio. Goiânia-GO, 2011.

A omissão de cálcio em mudas de acácia provocou, segundo Sarcinelli et al. (2004), a emissão de filódios novos com deformações e dobras, além de necrose nas bordas. Citando Läuchli & Bielecki (1983), Sarcinelli et al. (2004) salientaram que essas alterações na estrutura dos filódios ocorreram devido à importância deste nutriente para a permeabilidade e o transporte na membrana e para a manutenção da integridade celular.

Os resultados encontrados por Batista et al. (2003) em plantas de gravioleira com omissão de cálcio, também estão de acordo com os encontrados nesta pesquisa, tendo constatado que a ausência de cálcio acarretou anormalidades visíveis nas folhas mais novas, percebendo-se, inicialmente, necrose ao longo da margem superior do ápice da folha, com

o restante da folhagem apresentando a cor verde normal. A necrose das folhas proporcionou a estas um aspecto de folhas “queimadas”, adquirindo uma coloração pardo-escura e enroladas sobre si mesmas, com bordos recurvados para cima.

4.1.3.5 Magnésio

A omissão de magnésio para as plantas de mogno africano submetidas a este tratamento propiciou para que elas apresentassem os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após o início da aplicação da solução nutritiva. Nesta fase as plantas passaram a apresentar diminuição em seu ritmo de crescimento, folhas novas e velhas com tamanho reduzido e clorose internerval nas folhas velhas. Ao final do experimento as folhas mais velhas apresentaram queima internerval por todo o limbo (Figura 6).



Figura 6. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de magnésio e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de magnésio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de magnésio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de magnésio. Goiânia-GO, 2011.

Os sintomas de clorose internerval nas folhas velhas também foram observados em plantas de cupuaçuzeiro (Salvador et al., 1994), pupunheira (Silva & Falcão, 2002); umbuzeiro (Gonçalves et al., 2006), pinhão-manso (Silva et al., 2009) e gravioleira (Batista et al., 2003), quando houve omissão de magnésio na solução nutritiva.

Segundo Malavolta et al. (1997), a função mais conhecida do Mg é a de compor a molécula da clorofila que, para Faquin (2005) são porfirinas magnesianas. Assim, a omissão desse nutriente reduz a fotossíntese, causando a clorose e afetando o crescimento das plantas.

A omissão de magnésio em mudas de mogno, conforme Wallau et al. (2008), ocorreram sintomas de deficiência pelo aparecimento de pontos cloróticos e necrose nas pontas das folhas velhas. Em plantas de cerejeiras não supridas com magnésio, Vieira et al. (2011) constataram sintomas de deficiência, após 30 dias, em que as folhas começaram a apresentar manchas de coloração verde-amarelada que progrediu para um acentuado amarelecimento, iniciando pelas bordas das folhas, fazendo com que, posteriormente, estas ficassem totalmente sem coloração, apresentando, ainda, bordas com aspecto ondulado.

4.1.3.6 Enxofre

As plantas cultivadas sem enxofre na solução nutritiva começaram a apresentar os primeiros sintomas de deficiência deste nutriente aos 90 dias após o início da utilização da solução nutritiva, com a diminuição em seu ritmo de crescimento, folhas novas e velhas com tamanho reduzido e deformações nas margens das folhas novas. Com o avanço da deficiência, as margens das folhas novas começaram a enrolar para cima, as folhas intermediárias ficaram deformadas e as folhas velhas apresentaram limbo estreito e pontuações cloróticas (Figura 7).

Segundo Malavolta et al. (1980), ocorreram encurvamento e pequenas áreas necróticas nos folíolos de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) tratadas com omissão de enxofre, sintomas semelhantes aos observados nesta pesquisa com o mogno africano. Em plantas de pupunheira, Silva & Falcão (2002) observaram, primeiramente, clorose nas folhas novas, seguido de enrolamento das margens de todas as folhas.

Os resultados desta pesquisa, para os efeitos da omissão de enxofre, concordam, em parte, com os obtidos por Gonçalves et al. (2006), em mudas de umbuzeiro tratadas com solução nutritiva sem enxofre, que descreveram os sintomas como sendo

caracterizados por uma leve clorose das folhas mais novas, sendo estas mais estreitas, comparativamente com as folhas das plantas submetidas ao tratamento completo. Ainda, a parte terminal do caule apresentou textura levemente mais lisa, e coloração tendendo ao marrom, enquanto no tratamento completo a cor do caule era esverdeada.

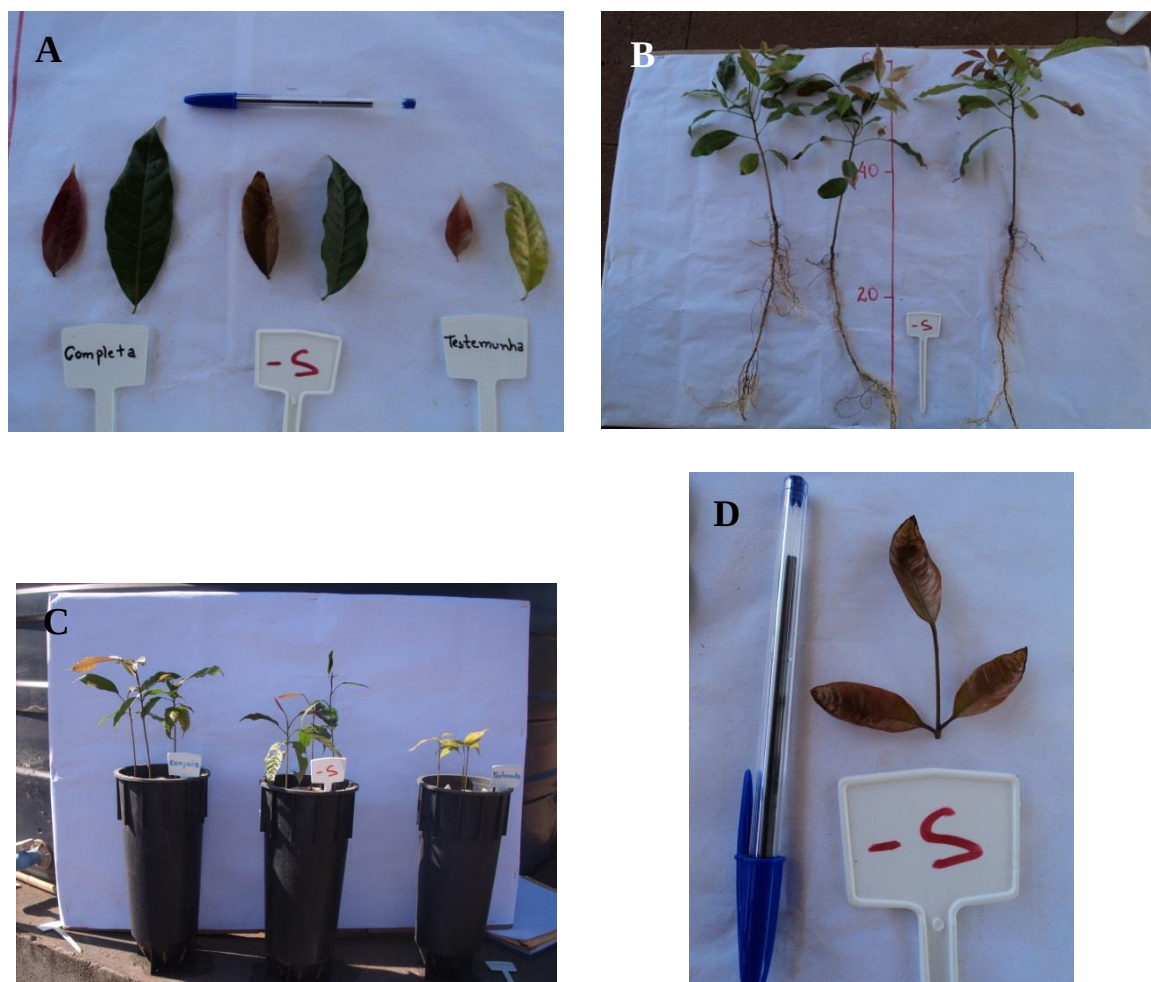


Figura 7. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com solução nutritiva completa, com omissão de enxofre e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de enxofre; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de enxofre e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre. Goiânia-GO, 2011.

Os sintomas de deficiência de enxofre são muito semelhantes aos de carência de nitrogênio, entretanto, como o enxofre é pouco móvel na planta, esses sintomas ocorrem inicialmente nas folhas superiores, ao contrário do nitrogênio (Malavolta et al., 1997).

4.1.3.7 Ferro

No tratamento com omissão de ferro na solução nutritiva, as plantas de mogno africano começaram a apresentar os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após o início da utilização da solução nutritiva, caracterizados pela diminuição em seu ritmo de crescimento, folhas novas e velhas com tamanho reduzido e deformações nas margens das folhas novas. Com a evolução da deficiência, as folhas jovens apresentaram clorose e nervuras pronunciadas na cor verde. As margens das folhas velhas e intermediárias apresentavam-se com margens enroladas e bordos necrosados e, também, coloração castanha por todo o limbo. As plantas tiveram o ponteiro apical bifurcado, com várias brotações laterais tortuosas (Figura 8).

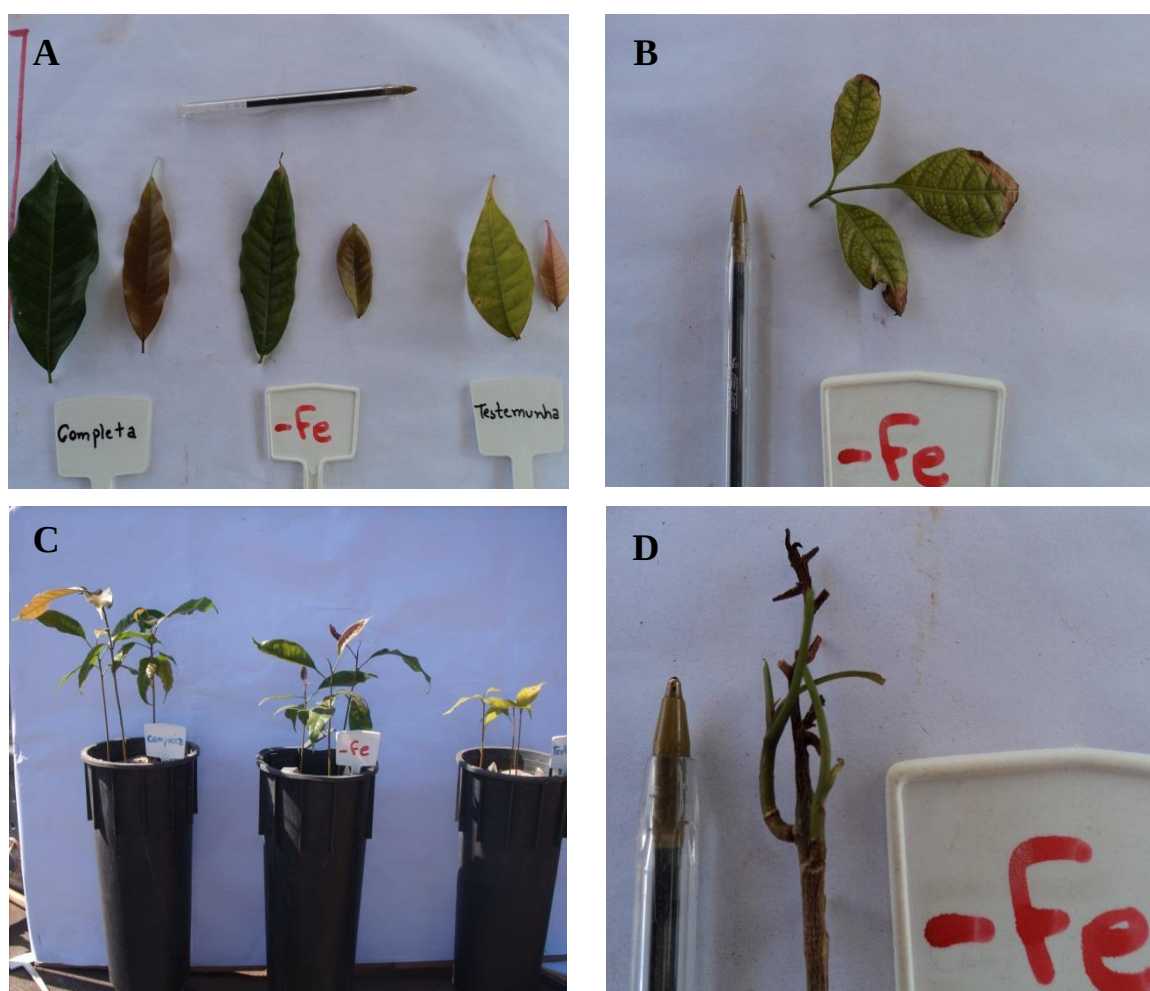


Figura 8. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de ferro e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de ferro; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de ferro e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro. Goiânia-GO, 2011.

O ferro participa dos processos de fotossíntese, respiração, fixação biológica de nitrogênio e assimilação de nitrogênio e enxofre (Malavolta et al., 1997). Este elemento é pouco móvel na planta, portanto, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas mais novas, as quais amarelecem devido à menor síntese de clorofila, enquanto apenas as nervuras podem ficar verdes durante algum tempo, destacando-se como um reticulado verde e fino. Com a evolução, as folhas podem sofrer um branqueamento (Faquin, 2005).

Os sintomas verificados nesta pesquisa, para a omissão de ferro na solução nutritiva aplicada em mudas de mogno africano, estão, em parte, de acordo com os obtidos em mudas de pupunheira (Silva & Falcão, 2002); cupuaçuzeiro (Salvador et al. (1994) e umbuzeiro (Neves et al., 2004), em que houve alteração na coloração das folhas jovens, clorose acentuada e folhas esbranquiçadas, com a evolução da deficiência.

Avaliando a omissão de ferro na solução nutritiva em mudas de pinhão-mansó, Silva et al. (2009) observaram a ocorrência de clorose nas folhas jovens, formando reticulado verde fino e, com a evolução da deficiência, a morte do meristema apical.

4.1.3.8 Boro

As mudas de mogno africano submetidas à omissão de boro apresentaram os primeiros sintomas de deficiência deste nutriente aos 40 dias após o início da utilização da solução nutritiva, observando-se a diminuição em seu ritmo de crescimento e as folhas novas e velhas com tamanho reduzido. Os sintomas mais evidentes da falta desse nutriente ocorreram a partir dos 60 dias após a utilização da solução nutritiva, quando as folhas jovens começaram a apresentar deformações por todo o limbo, com ondulações na lâmina foliar, enrolamento das bordas e alterações na forma. Com a evolução da deficiência, as folhas velhas apresentaram deformações no limbo foliar e necrose no ápice que progrediam lentamente para a base. Os ponteiros ficaram bastante comprometidos na ausência deste nutriente, ocorrendo morte da gema apical e brotações laterais (Figura 9).

Foram observadas, por Silva & Falcão (2002), ondulações da lâmina foliar em mudas de pupunheira, concordando com os resultados encontrados nesta pesquisa, enquanto Paulo et al. (1989) observaram enrolamento das margens foliares, necrose dos ramos primários e superbrotamento em mudas de mamoneira.

Resultados semelhantes aos desta pesquisa foram obtidos por Neves et al. (2004) em mudas de umbuzeiro, que constataram a deficiência de boro nas folhas mais jovens,

que apresentaram leve clorose internerval, posteriormente evoluindo do centro para as bordas das folhas. Em seguida, essas folhas tornaram-se amareladas, destacando-se um fundo levemente clorótico, se encurvaram e retorceram para baixo, resultando acentuada queda dos primeiros pares de folhas, persistindo nas plantas as folhas mais velhas. A omissão do boro induziu, ainda, a morte dos pontos vegetativos apicais, provocando o secamento dos ápices de maneira descendente (*dieback*). A deficiência de B causou a formação de folhas menores e mais espessas em relação às folhas normais.

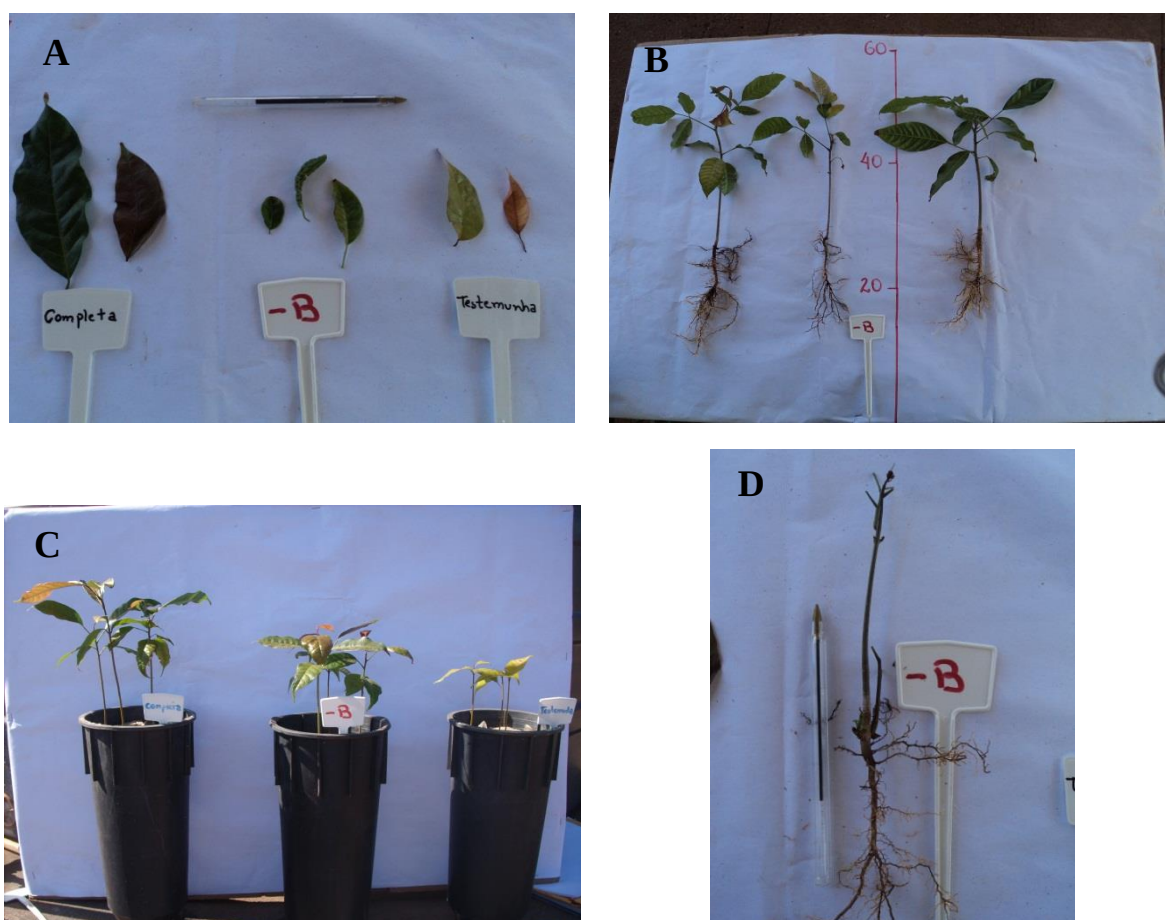


Figura 9. Mudanças de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de boro e testemunha; B) aspecto das raízes de plantas supridas com omissão de boro; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de boro e testemunha; D) aspecto da parte aérea e das raízes de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de boro. Goiânia-GO, 2011.

Em mudas de mamoneira cultivadas na ausência de boro, Lange et al. (2005) observaram as folhas mais novas encarquilhadas, espessas e, em alguns casos, enroladas

para baixo. No final do desenvolvimento das mudas, na fase de viveiro, a deficiência de B causou perda da dominância em razão da morte da gema apical. Em mudas de abacaxizeiro, Ramos (2006) constatou deformações nas folhas, com aspecto de serra nos bordos de plantas submetidas à deficiência de boro.

Devido à imobilidade do boro na planta, os sintomas de deficiência aparecem primeiramente nos órgãos mais novos e nos meristemas apicais, tanto da parte aérea quanto das raízes, caracterizando-se pela redução do tamanho e deformação das folhas mais novas, morte da gema terminal e menor crescimento das raízes (Faquin, 2005).

4.1.3.9 Cobre

O tratamento de plantas de mogno africano com omissão de cobre na solução nutritiva concorreu para que as plantas manifestassem os primeiros sintomas de deficiência aos 60 dias após o início da utilização da solução nutritiva, apresentando diminuição em seu crescimento e folhas novas e velhas com tamanho menor que o normal. As folhas jovens apresentaram deformações por todo o limbo, com ondulações na lâmina foliar, enrolamento das margens para baixo e bordos recortados. Com o avanço da deficiência, as folhas velhas apresentaram clorose que progrediram para necrose do ápice para a base e das margens para o centro da folha. As deformações no limbo foliar também atingiram as folhas velhas. Os ponteiros ficaram bastante comprometidos na ausência do cobre, com bifurcações, brotações laterais e morte da gema apical (Figura 10).

Os resultados observados na presente pesquisa, em parte, são semelhantes aos obtidos por Salvador et al. (1994) em mudas de cupuaçuzeiro, que constataram que a ausência de cobre na solução nutritiva afetou os pontos vegetativos, ocasionando a morte das gemas apicais. Nesses pontos, originaram-se excessivos lançamentos, com folhas de tamanho reduzido e mal formadas. O limbo das folhas mais velhas apresentou-se de cor verde mais escura comparativamente com a cor das folhas mais novas.

Quando se omitiu o cobre na solução nutritiva, Wallau et al. (2008) observaram folhas novas de mudas de mogno com manchas necróticas entre as nervuras e nas bordas. Em plantas de castanheira-do-brasil, Camargos et al. (2002) observaram clorose das margens para o centro das folhas, seguida de necrose acentuada no ápice. Essas observações estão de acordo, de forma parcial, com os resultados obtidos em plantas de mogno africano nesta pesquisa, quando houve omissão de cobre na solução nutritiva. De

acordo com Malavolta et al. (1997), o cobre é pouco móvel no floema e, portanto, os sintomas de deficiência aparecem comumente nas folhas novas das plantas, manifestando murcha, clorose em geral verde-cinza e necrose.

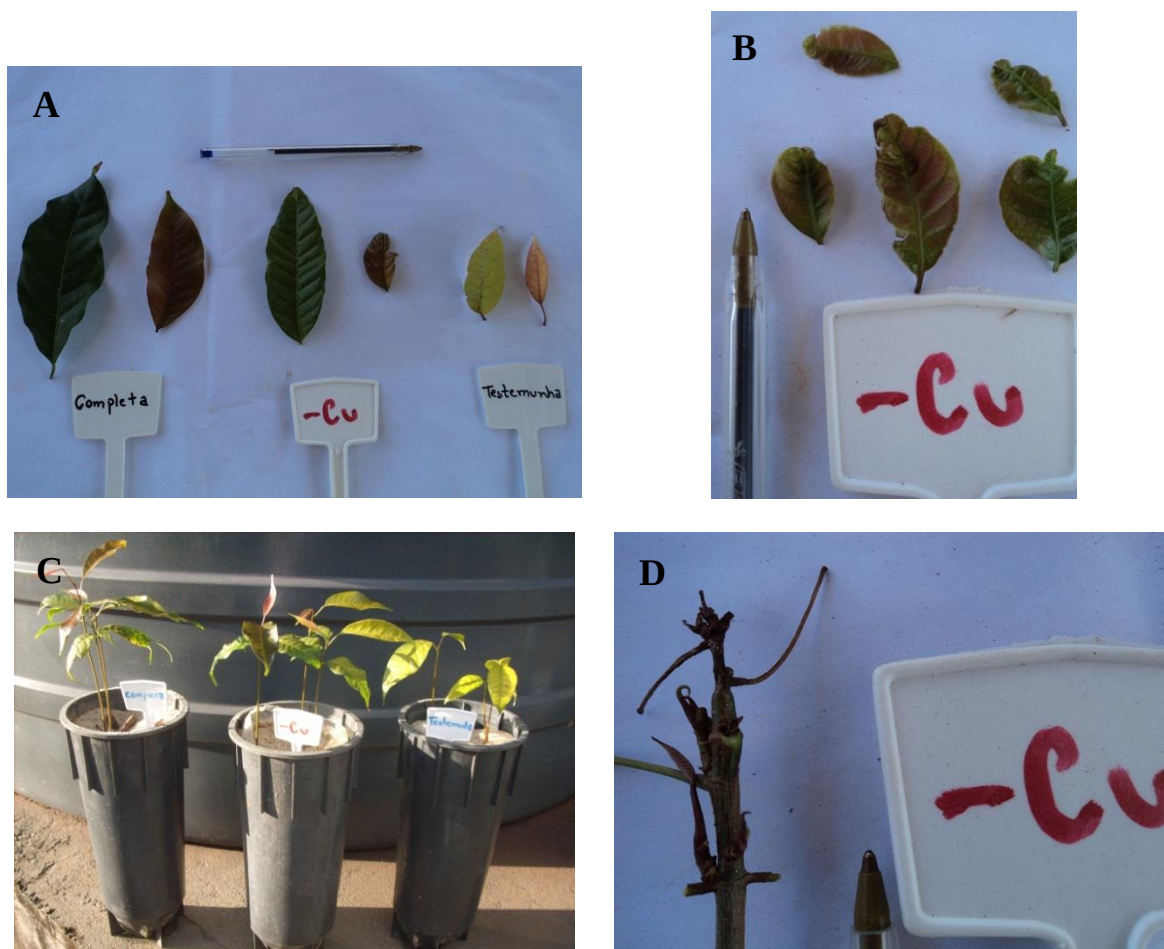


Figura 10. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cobre e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de cobre; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cobre e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cobre. Goiânia-GO, 2011.

Os sintomas típicos de deficiência de cobre nas plantas são clorose, necrose, distorção foliar e seca de ponteiro, ocorrem preferencialmente em tecidos das brotações e são indicativos de redistribuição pobre de cobre em plantas deficientes neste micronutriente (Loneragan, 1981, citado por Kirkby & Römhild, 2007). Para Malavolta et al. (1997), os principais sintomas associados à deficiência de cobre em plantas são: cor verde-azulada, murchamento e deformação do limbo e das folhas.

4.1.3.10 Manganês

Nas plantas de mogno africano não supridas com manganês, os primeiros sintomas de deficiência foram observados aos 40 dias após o início do tratamento. Estas apresentaram diminuição em seu ritmo de crescimento e folhas novas com tamanho reduzido. As folhas jovens apresentaram coloração amarelo-esverdeada, diferente do tom avermelhado característico na espécie. Posteriormente, essas folhas apresentaram pontos necrosados em todo o limbo. Persistindo a deficiência de manganês, as folhas intermediárias apresentaram clorose, nervuras arroxeadas bem evidentes e deformações (Figura 11).

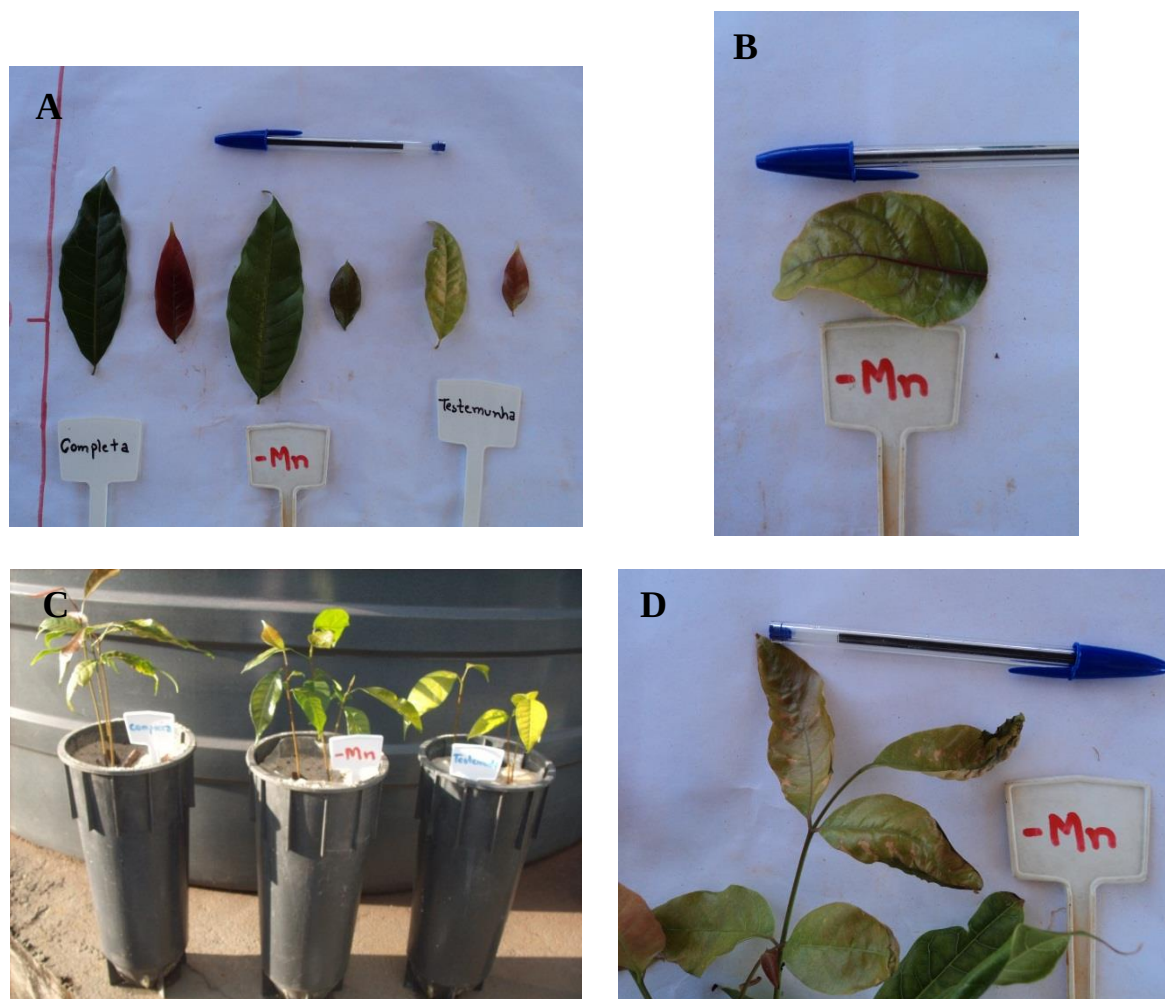


Figura 11. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de manganês e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de manganês; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de manganês e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas com solução nutritiva com omissão de manganês. Goiânia-GO, 2011.

Resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa foram encontrados por Salvador et al. (1999) que observaram leve clorose internerval, contrastando com o verde das nervuras e adjacências em folhas de mudas de goiabeiras tratadas com solução nutritiva sem manganês. As folhas mais jovens, no início da deficiência, apresentaram-se com esparsas áreas cloróticas adjacentes à nervura principal. As folhas em formação, devido à pigmentação natural existente, apresentaram nervuras bem verdes, formando um nítido contraste com a cor avermelhada do limbo. No ramo principal, as folhas apresentaram certa torção, com curvatura para baixo, enquanto nos demais ramos, as folhas dispuseram-se em ângulo mais agudo em relação à haste. No entanto, as plantas de goiabeiras com deficiência de Mn apresentaram, durante um determinado período, desenvolvimento aparentemente normal, com as folhas atingindo dimensões até mesmo maiores, porém de coloração mais opaca.

Como o Mn é pouco móvel na planta, os sintomas de deficiência se manifestam nas folhas mais novas que, inicialmente, mostram um amarelecimento internerval. Além das nervuras, uma estreita faixa de tecido ao longo das mesmas permanece verde (Faquin, 2005). Malavolta et al. (1997) descrevem como principais sintomas de deficiência de Mn a ocorrência de clorose, nervuras em reticulado verde e grosso e tamanho normal.

Foi observada, por Rosolem & Ferelli (2000), clorose internerval em folhas jovens de plantas de algodão (*Gossioium hirsutum* L.) tratadas com solução nutritiva com omissão de manganês. Porém, não foram observados sintomas de deficiência de manganês em mudas de pupunheira, segundo Silva & Falcão (2002).

4.1.3.11 Zinco

No tratamento com solução nutritiva sem zinco, as plantas de mogno africano começaram a apresentar os primeiros sintomas de deficiência aos 60 dias após o início da aplicação da solução nutritiva, evidenciando diminuição em seu ritmo de crescimento e folhas novas amareladas, estreitas e alongadas. As folhas jovens apresentaram deformações com margens recortadas e pontas enroladas para baixo. Ao final do período experimental, as plantas apresentavam encurtamento dos internódios, perda da dominância apical e brotações laterais (Figura 12).

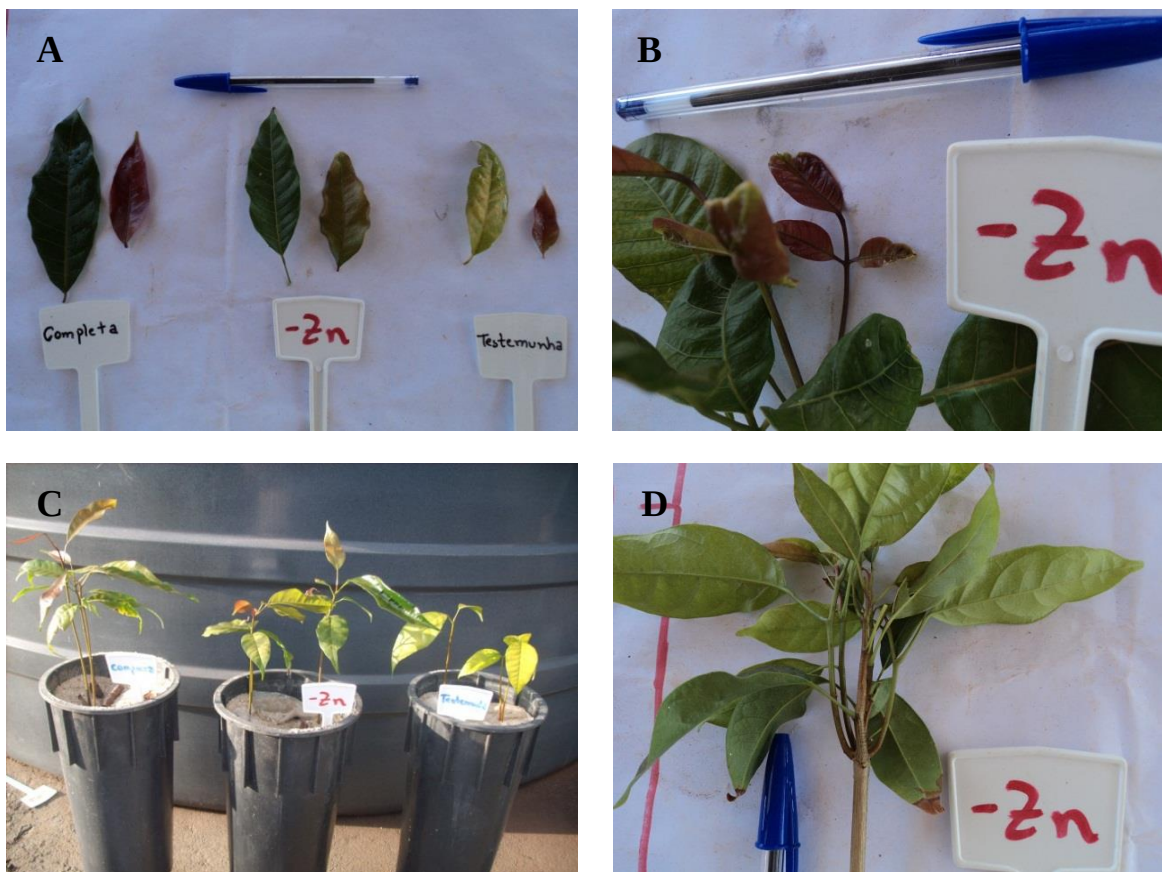


Figura 12. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de zinco e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de zinco; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de zinco e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de zinco. Goiânia-GO, 2011.

Resultados semelhantes aos obtidos neste tratamento com aplicação de solução nutritiva sem zinco, em mudas de mogno africano, foram descritos por Silva & Falcão (2002) em mudas de pupunheira submetidas a este mesmo tratamento, tendo observado sintomas como folhas jovens amareladas, estreitas, alongadas em forma de lanças e necrose bastante evidente nas pontas, se expandindo em direção à base.

Em plantas de cupuaçuzeiro, Salvador et al. (1994) observaram como sintomas de deficiência de Zn, folhas mais novas apresentando distorções e ondulações marginais, sendo estreitas e alongadas em relação ao seu tamanho, e presença marcante de clorose entre as nervuras avançando por todo o limbo.

Sintomas diferentes dos observados nesta pesquisa foram relatados por Wallau et al. (2008). Para esses autores, os sintomas de deficiência de Zn em mudas de mogno

foram verificados pelo aparecimento de manchas amareladas entre as nervuras, além do maior desenvolvimento em altura em relação às plantas tratadas com solução nutritiva completa, enquanto que Lange et al. (2005) não observaram sintomas diferenciados em plantas de mamoneira submetidas à omissão de Zn na solução nutritiva.

Para Malavolta et al. (1997), os principais sintomas de deficiência de Zn nas plantas dicotiledôneas são folhas lanceoladas, clorose internerval e internódio curto; morte de gemas ou da região de crescimento.

4.1.3.12 Molibdênio

As plantas de mogno africano tratadas com solução nutritiva sem molibdênio começaram a apresentar os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após o início da utilização da solução nutritiva, com diminuição em seu ritmo de crescimento e folhas velhas com necrose no ápice. Com a evolução da deficiência nutricional de molibdênio, as folhas jovens apresentaram deformações com margens recortadas e voltadas para baixo. Ao final do período de avaliação, as plantas apresentavam encurtamento dos internódios e bifurcações (Figura 13).

A omissão de molibdênio na solução nutritiva aplicada em plantas de algodão, de acordo com Rosolem & Bastos (1997), provocou, em folhas mais novas, pontas dos lobos levemente voltadas para baixo, concordando com os resultados encontrados na presente pesquisa. Porém, Silva & Falcão (2002) não observaram sintomas de deficiência de molibdênio em mudas de pupunheira, indicando uma possível baixa exigência dessa espécie a esse micronutriente.

De acordo com Faquin (2005), algumas espécies mostram os sintomas de deficiência de molibdênio nas folhas velhas e outras nas folhas novas. Clorose malhada geral, manchas amarelo-esverdeadas em folhas velhas, necrose, murcha das margens das folhas novas e encurvamento do limbo para cima, ou para baixo, também têm sido observados. As manchas necróticas que aparecem nas margens das folhas parecem ser devido à acumulação de nitrato. Para Malavolta et al. (1997), os principais sintomas de deficiência de Mo são clorose uniforme, com ou sem estrangulamento do limbo e manchas pardas internervais com encurvamento (ou não) do limbo.

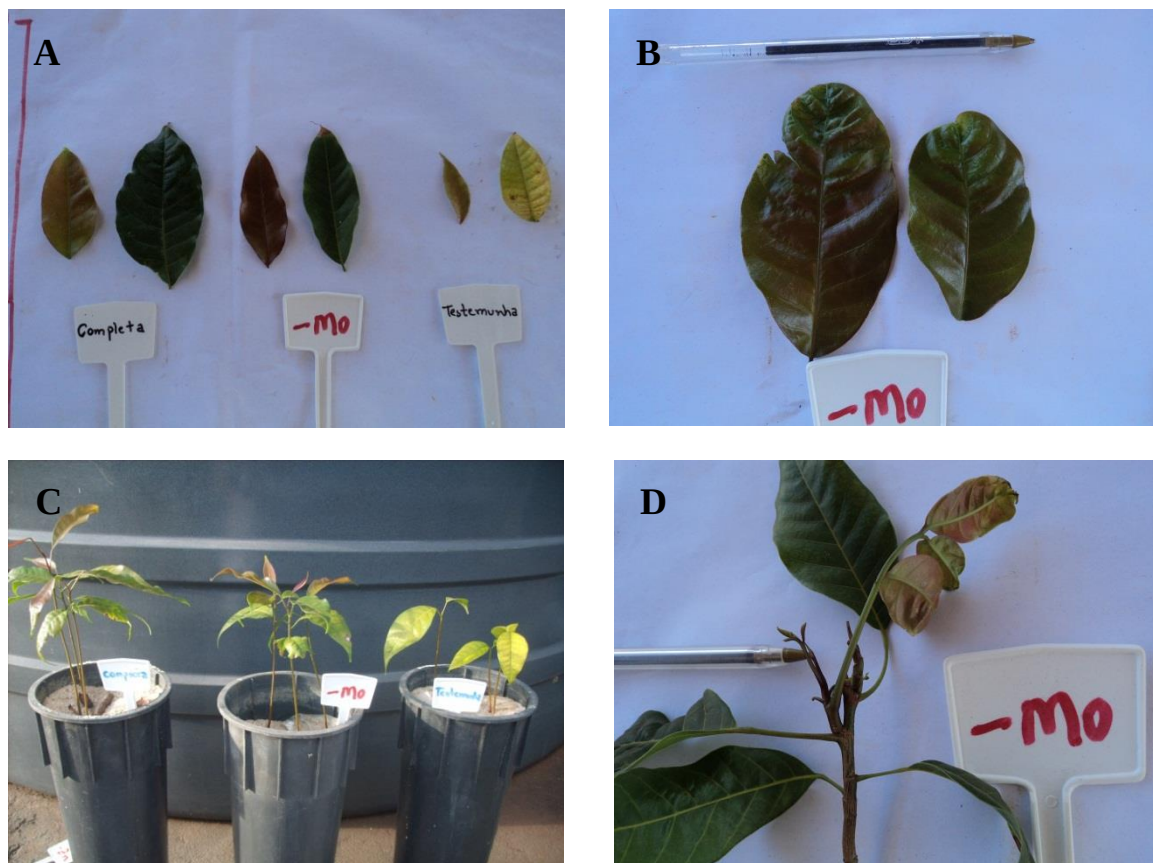


Figura 13. Mudanças de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de molibdênio e testemunha; B) aspecto das folhas de plantas supridas com omissão de molibdênio; C) aspecto geral de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de molibdênio e testemunha; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de molibdênio. Goiânia-GO, 2011.

A Tabela 12 mostra uma síntese dos efeitos da omissão dos diferentes nutrientes avaliados, nos teores foliares, no desenvolvimento das plantas e os principais sintomas de deficiência observados no Experimento 1.

Tabela 12. Teores foliares de nutrientes associados à sua presença ou ausência na solução nutritiva e em plantas normais ou deficientes de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) avaliadas a partir dos 60 dias após a semeadura, no experimento 1.

Elemento (sintoma)	Presente (normal)	Ausente (deficiente)	Resumo dos principais sintomas de deficiência
N (g.kg ⁻¹)	24,1	17,4	Clorose seguida de necrose nas margens e senescência em folhas velhas; folhas jovens com coloração vermelho-pálidas.
P (g.kg ⁻¹)	3,4	1,9	Coloração amarelada, necrose e secamento das folhas velhas; perda da coloração avermelhada nas folhas jovens que passaram a apresentarem pontuações escuras por todo o limbo e encarquilhamento.
K (g.kg ⁻¹)	13,0	7,2	Clorose seguida de necrose das pontas e margens das folhas velhas e intermediárias.
Ca (g.kg ⁻¹)	15,5	7,0	Folhas novas com gancho na extremidade progredindo para necrose e secamento, no sentido da ponta para a base.
Mg (g.kg ⁻¹)	2,7	2,6	Clorose internerval progredindo para queima nas folhas velhas.
S (g.kg ⁻¹)	---	---	Deformações nas margens das folhas; folhas jovens com margens enroladas para cima.
Fe (mg.kg ⁻¹)	498,0	430,0	Folhas jovens e velhas com deformações nas margens; limbo das folhas velhas e intermediárias com coloração castanha; ponteiro bifurcado com brotações laterais tortuosas.
Mn (mg.kg ⁻¹)	45,8	35,4	Folhas jovens deformadas; necrose na ponte das folhas velhas; morte da gema apical.
Zn (mg.kg ⁻¹)	20,1	8,1	Folhas jovens deformadas com ondulações e enrolamento das margens; bordos recortados; necrose nas folhas velhas; bifurcações no ponteiro e morte da gema apical.
Cu (mg.kg ⁻¹)	2,3	2,9	Folhas jovens com coloração amarelo-esverdeado; pontos necrosados em todo o limbo; nervuras arroxeadas e deformações.
B (mg.kg ⁻¹)	---	---	Folhas jovens amareladas, estreitas e alongadas. Encurtamento de internódios; perda de dominância apical;
Mo (mg.kg ⁻¹)	---	---	Necrose no ápice de folhas velhas; folhas jovens deformadas, com margens recortadas e voltadas para baixo.

4.2 EXPERIMENTO 2 - EFEITOS DA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE *Khaya ivorensis* ESTUDADOS EM MUDAS MADURAS EM VIVEIRO

4.2.1 Efeitos no desenvolvimento das plantas

Observa-se, na Tabela 13, que as análises de variância indicaram efeitos significativos dos tratamentos contendo, ou não, macronutrientes e micronutrientes na

solução nutritiva, em todas as variáveis relativas ao desenvolvimento das mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*).

Tabela 13. Resumo das análises de variância para altura da planta (AP), diâmetro do coleto (DC) e matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e total da parte aérea (MSPA) de mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos com presença e ausência de nutrientes na solução nutritiva, a partir dos 60 dias após a semeadura.

Causas de variação	Graus de liberdade	Valores do quadrado médio do resíduo e níveis de significância pelo teste F				
		AP (cm)	DC (mm)	MSF (g)	MSC (g)	MSPA (g)
Tratamento	13	375,15**	9,06**	160,69**	330,13**	937,51**
Resíduo	126	48,13	1,494	11,903	33,460	65,180
Total	139					
CV (%)		13,9	10,6	27,7	30,8	25,3

** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados de altura da planta e diâmetro do coleto, de plantas de mogno africano submetidas a diversos tratamentos com presença e ausência de nutrientes. Constata-se que houve redução significativa da altura e do diâmetro do coleto das plantas nos tratamentos com omissão de N e testemunha, quando comparados com os valores obtidos no tratamento completo. Resultados semelhantes foram observados por Silveira et al. (2002) em clones de eucalipto, em que a ausência do nitrogênio foi o tratamento que mais afetou o crescimento das plantas.

A redução do crescimento causada pela deficiência de nitrogênio é resultado das funções que o nutriente desempenha na planta. Normalmente, o N é o nutriente mais exigido pelas culturas, uma vez que atua como estrutural nas moléculas dos aminoácidos, proteínas, enzimas, pigmentos e produtos secundários (Malavolta et al., 1997).

Em experimento com mudas de umbuzeiro sob omissão de macronutrientes, Gonçalves et al. (2006) observaram as maiores reduções na altura das plantas nos tratamentos com omissões de Ca, N e Mg. Em relação ao diâmetro, ocorreu fato semelhante ao observado com a altura, sendo que as plantas, nos tratamentos com omissão de Ca, N, Mg e K apresentaram caules mais finos. Outros trabalhos apontam o N e o Ca como os elementos mais limitantes ao crescimento em altura e diâmetro do caule de outras espécies, como timbó (*Indigofera lespedezoides*) (Conceição et al., 2002) e graviola (*Anona muricata*) (Batista et al., 2003).

Resultados parcialmente semelhantes foram observados por Maffeis et al. (2000) em plantas de *Eucalyptus citriodora* tratadas com soluções nutritivas omitindo N, Ca, Mg, S e B, tendo apresentado menor crescimento em altura quando comparado aos valores avaliados com a aplicação de solução completa. Em relação ao diâmetro de coleto, houve redução significativa apenas no tratamento sem N.

Tabela 14. Altura média e diâmetro médio do coleto de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*), aos 220 dias após o transplântio, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.

Tratamentos	Altura de planta (cm)	Diâmetro de coleto (mm)
1-Completo	51,60 ^a	12,30 ^a
2-Omissão de nitrogênio	37,90 ^{bc}	9,80 ^{bc}
3-Omissão de fósforo	51,20 ^a	11,70 ^a
4-Omissão de potássio	49,00 ^a	11,80 ^a
5-Omissão de cálcio	55,70 ^a	12,30 ^a
6-Omissão de magnésio	56,70 ^a	12,20 ^a
7-Omissão de enxofre	47,10 ^{abc}	11,40 ^{ab}
8-Omissão de ferro	48,80 ^a	12,00 ^a
9-Omissão de boro	53,40 ^a	11,70 ^a
10-Omissão de cobre	55,60 ^a	12,00 ^a
11-Omissão de manganês	53,90 ^a	11,80 ^a
12-Omissão de zinco	48,50 ^{ab}	11,10 ^{abc}
13-Omissão de molibdênio	53,80 ^a	12,70 ^a
14-Testemunha	36,80 ^c	9,30 ^c
CV (%)	13,8	10,5

*Médias seguidas de letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Os resultados encontrados na presente pesquisa, para os tratamentos com omissão de Ca, Mg e B, contrariam os resultados descritos por Maffeis et al. (2000), sendo as alturas médias das plantas equiparadas aos registrados no tratamento completo. Em relação ao diâmetro do coleto, o tratamento sem Ca propiciou resultado semelhante ao tratamento completo, e os tratamentos com omissão de Mg e B proporcionaram alturas de plantas com valores um pouco abaixo dos obtidos no tratamento Completo (Tabela 14), demonstrando uma menor exigência de Ca e Mg por plantas desta espécie.

De acordo com Gonçalves et al. (2006), 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.

A omissão dos diversos micronutrientes, exceto o macronutriente N, não influenciou o crescimento das plantas de *K. ivorensis*, provavelmente porque durante a etapa inicial, onde as plantas foram mantidas em substrato comercial, o suprimento desses micronutrientes foi suficiente para sustentar o crescimento posterior da planta durante o período experimental.

Os valores médios de matéria seca de folha, do caule e total, aos 220 dias após o transplântio de plantas de *K. ivorensis* supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Matéria seca das folhas, do caule e total da parte aérea de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*), aos 220 dias após o transplântio, supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.

Tratamentos	Matéria seca (g)		
	Folha	Caule	Total parte aérea
1-Completo	12,10 ^{abc}	20,30 ^{abc}	33,00 ^{bcd}
2-Omissão de nitrogênio	5,40 ^d	8,70 ^d	14,80 ^e
3-Omissão de fósforo	10,60 ^{bcd}	16,50 ^{bcd}	27,60 ^{cd}
4-Omissão de potássio	15,90 ^a	18,70 ^{bc}	34,90 ^{abcd}
5-Omissão de cálcio	17,00 ^a	28,30 ^a	45,70 ^a
6-Omissão de magnésio	17,30 ^a	24,80 ^{ab}	44,20 ^{ab}
7-Omissão de enxofre	9,80 ^{cd}	17,70 ^{bc}	28,60 ^{cd}
8-Omissão de ferro	9,60 ^{cd}	15,30 ^{cd}	24,80 ^{de}
9-Omissão de boro	9,40 ^{cd}	16,00 ^{bcd}	26,00 ^{de}
10-Omissão de cobre	15,80 ^{ab}	23,50 ^{abc}	39,80 ^{abc}
11-Omissão de manganês	14,50 ^{abc}	21,60 ^{abc}	36,40 ^{abcd}
12-Omissão de zinco	14,50 ^{abc}	18,20 ^{bc}	33,40 ^{abcd}
13-Omissão de molibdênio	16,50 ^a	24,60 ^{ab}	41,70 ^{ab}
14-Testemunha	6,20 ^d	8,40 ^d	15,20 ^e
CV (%)	27,6	30,8	25,3

*Médias seguidas de letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5%.

Observa-se que os tratamentos com omissão de N e testemunha apresentaram valores significativamente menores de matéria seca de folha, do caule e total em comparação com os valores do tratamento completo. A produção de matéria seca total ocorreu na seguinte ordem decrescente: Ca > Mg > Mo > Cu > Mn > K > Zn > completo > S > P > B > Fe > testemunha > N, destacando-se o N como elemento mais limitante ao crescimento inicial e Ca, Mg e Mo os menos exigidos na fase inicial de desenvolvimento da planta.

Em mudas de mogno brasileiro (*S. macrophylla*), Wallau et al. (2008) observaram redução na matéria seca total nos tratamentos com omissão de N, K, Ca e Cu, indicando maior demanda desses nutrientes na fase inicial de desenvolvimento da planta. Gonçalves et al. (2006) constataram que as omissões de Ca, N, K e Mg ocasionaram decréscimo na produção de matéria seca de raiz, folha, caule e total, em relação aos demais tratamentos, enquanto que os tratamentos com omissão de P e S não diferiram significativamente do tratamento completo, indicando que, no período avaliado, esses dois nutrientes não limitaram a produção de matéria seca total das plantas de umbuzeiro.

Foi observada, por Maffeis et al. (2000), em plantas de *E. citriodora*, drástica redução da matéria foliar nos tratamentos com omissão de N e B, ressaltando que o nitrogênio estimula o crescimento vegetativo, sendo que em casos de baixo suprimento ocorre redução na produção de folhas (tamanho e número), concordando com os resultados desta pesquisa, no tratamento com omissão de N.

Em experimento com *Acacia holosericea*, Sarcinelli et al. (2004) verificaram que o decréscimo na produção da matéria vegetal ocorreu nos tratamentos com omissão de N, Mg, K e S, e Dias et al. (1990) constataram baixas exigências de Ca para a formação de mudas de *A. mangium*, outra espécie deste mesmo gênero.

Segundo Viégas et al. (2004), em experimento com camucamuzeiro, os tratamentos que mais afetaram a produção de matéria seca total foram os com omissões individuais de N, K e B, quando comparados ao tratamento completo.

Foi constatado, por Salvador et al. (1999), que as deficiências de B, Cu, Fe, Mn e Zn induziram ao decréscimo da produção de matéria seca de mudas de goiabeira, concluindo que o desenvolvimento da planta foi menos afetado pela carência de Mn e mais afetada pelo Fe. De acordo com os resultados do presente estudo, os micronutrientes B e Fe foram os que mais afetaram a produção de matéria, concordando com os resultados encontrados por Salvador et al. (1999).

4.2.2 Efeitos nos teores foliares dos nutrientes

Encontram-se, na Tabela 16, os teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg nas folhas de plantas de *Khaya ivorensis* supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Verifica-se que os teores de nitrogênio nas folhas foram menores e com significância estatística apenas no tratamento Testemunha, quando comparado ao tratamento Completo. Menores teores foliares de P, K e Ca ocorreram quando esses elementos foram omitidos na solução nutritiva, sendo os valores de P e K equiparados aos do tratamento testemunha. Na ausência de Mg, os teores foliares desse elemento foram superiores mas não significativos em relação ao tratamento completo, enquanto os teores de P foram maiores na ausência de N, Ca, Mg, S, Fe, B e Cu, os teores de K mais elevados na ausência de P, Ca, Mg, S, Fe, B, Cu, Mn e Zn, os teores de Ca mais altos na ausência de N, K, Mg, S, Fe, B, Zn, Mo e no tratamento testemunha, e teores maiores de Mg na ausência de N, K, Ca, S, Fe e no tratamento Testemunha.

Tabela 16. Teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas folhas de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.

Tratamentos	Macronutrientes (g.kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg
Completo	32,60 ^a	1,30 ^{ef}	8,30 ^{ef}	12,00 ^{de}	2,40 ^b
Sem N	25,90 ^a	2,20 ^{cde}	9,90 ^{cde}	21,50 ^{bc}	5,80 ^a
Sem P	33,10 ^a	1,10 ^f	11,10 ^{abc}	12,50 ^d	2,30 ^b
Sem K	29,00 ^a	3,60 ^{ab}	6,10 ^g	19,90 ^{bc}	4,80 ^a
Sem Ca	27,60 ^a	3,30 ^{ab}	10,60 ^{bcd}	6,80 ^e	4,90 ^a
Sem Mg	25,60 ^a	3,30 ^{ab}	11,20 ^{abc}	19,40 ^{bc}	3,20 ^b
Sem S	25,60 ^a	2,90 ^{bcd}	10,40 ^{bcd}	21,40 ^{bc}	5,10 ^a
Sem Fe	27,90 ^a	4,00 ^a	11,90 ^{ab}	31,90 ^a	5,50 ^a
Sem B	26,80 ^a	3,10 ^{abc}	11,90 ^{ab}	20,80 ^{bc}	2,60 ^b
Sem Cu	27,90 ^a	2,10 ^{de}	11,70 ^{ab}	16,50 ^{cd}	2,80 ^b
Sem Mn	28,60 ^a	1,70 ^{ef}	12,40 ^a	16,90 ^{bcd}	3,00 ^b
Sem Zn	28,70 ^a	1,80 ^{ef}	11,50 ^{abc}	18,60 ^{bc}	3,00 ^b
Sem Mo	27,60 ^a	1,50 ^{ef}	9,20 ^{de}	18,90 ^{bc}	2,90 ^b
Testemunha	11,20 ^b	1,00 ^f	7,40 ^{fg}	22,30 ^b	5,40 ^a
CV (%)	19,3	26,8	11,1	19,8	23,5

*Médias seguidas de letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Avaliando substâncias nutritivas em mudas de cerejeira, Vieira et al. (2011) também observaram que a omissão de Ca e K aumentaram a concentração de P nas plantas, corroborando com resultados encontrados no presente trabalho.

O teor de potássio encontrado no tratamento completo ficou abaixo dos valores obtidos nos demais tratamentos, com exceção dos tratamentos testemunha e com omissão de potássio. A redução nos teores de potássio encontrados nas folhas de *K. ivorensis* obedecem à seguinte ordem: K > Testemunha > Completo > Mo > N > S > Ca > P > Mg > Zn > Cu > Fe > B > Mn.

No tratamento completo o teor de cálcio analisado nas plantas de mogno africano, também seguiu a mesma tendência, apresentando-se abaixo dos valores de todos os outros tratamentos, com exceção do tratamento sem Ca. No tratamento testemunha o teor de cálcio foi o segundo maior, apresentando diferença significativa quando comparado ao tratamento completo. A redução nos teores de cálcio encontrados nas folhas de *K. ivorensis*, obedecem a seguinte ordem: Ca > completo > P > Cu > Mn > Zn > Mo > Mg > K > B > S > N > testemunha > Fe.

O magnésio, no tratamento completo, apresentou teores abaixo dos valores obtidos em todos os outros tratamentos, com exceção do tratamento com omissão de P. O tratamento testemunha apresentou o terceiro maior teor de magnésio encontrado, diferindo-se significativamente do tratamento completo. A redução nos teores de magnésio, encontrados nas folhas de *K. ivorensis*, obedecem a seguinte ordem: P > completo > B > Cu > Mo > Mn > Zn > Mg > K > Ca > S > testemunha > Fe > N.

Resultados parcialmente semelhantes foram encontrados no Experimento 1 do presente trabalho, onde foi observado que o teor de Ca foi maior no tratamento com omissão de K e o teor de Mg foi maior no tratamento com omissão de K.

Com exceção do K, os teores de macronutrientes obtidos nas plantas de mogno africano supridas com solução nutritiva completa ficaram acima ou dentro da faixa considerada adequada por Malavolta et al. (1997), indicando grande exigência nutricional desta espécie.

Na Tabela 17 encontram-se os teores dos micronutrientes Fe, Cu, Mn e Zn analisados nas folhas de plantas de *K. ivorensis* supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Os teores foliares de ferro foram significativamente menores nos tratamentos com omissão de Mg, S e Fe em relação ao tratamento completo. As maiores concentrações de Fe foram observadas nos tratamentos completo, testemunha e com omissões de Zn e Mo.

Contata-se que os teores foliares de cobre não diferiram significativamente entre o tratamento Completo e aquele com omissão deste elemento. Os maiores teores de cobre foram encontrados nos tratamentos com omissão de Ca, Mo e testemunha, que diferiram significativamente do tratamento completo, e este último apresentou o menor teor de cobre.

Tabela 17. Teores dos micronutrientes ferro, cobre, manganês e zinco nas folhas de plantas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) supridas com solução nutritiva completa e com omissão de nutrientes. Goiânia, GO. 2011.

Tratamentos	Micronutrientes (mg.kg ⁻¹)			
	Fe	Cu	Mn	Zn
Completo	521,2 ^{abc}	2,30 ^d	50,20 ^{cde}	15,40 ^a
Sem N	467,2 ^{cd}	2,60 ^{bcd}	48,20 ^{cde}	15,30 ^{ab}
Sem P	446,0 ^{cd}	2,60 ^{bcd}	43,60 ^{de}	15,90 ^a
Sem K	492,2 ^{bc}	2,50 ^{cd}	82,10 ^{bcd}	16,10 ^a
Sem Ca	450,6 ^{cd}	3,90 ^a	157,20 ^a	11,00 ^{cd}
Sem Mg	371,8 ^{de}	3,50 ^{abcd}	93,50 ^b	9,80 ^{cdef}
Sem S	325,3 ^e	2,50 ^{cd}	40,20 ^a	6,40 ^{gh}
Sem Fe	343,5 ^e	2,70 ^{abcd}	41,40 ^e	6,80 ^{fgh}
Sem B	468,8 ^{cd}	2,90 ^{abcd}	84,20 ^{bc}	7,20 ^{efg}
Sem Cu	454,2 ^{cd}	3,00 ^{abcd}	82,90 ^{bcd}	3,80 ^h
Sem Mn	452,8 ^{cd}	3,00 ^{abcd}	78,30 ^{bcde}	7,00 ^{fg}
Sem Zn	530,7 ^{abc}	3,30 ^{abcd}	72,00 ^{bcde}	8,70 ^{defg}
Sem Mo	608,9 ^a	3,80 ^{ab}	62,70 ^{bcde}	10,20 ^{cde}
Testemunha	588,5 ^{ab}	3,70 ^{abc}	57,10 ^{bcde}	12,30 ^{bc}
CV (%)	13,7	27,3	37,0	19,0

*Médias seguidas de letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Os teores foliares de Mn também não diferiram significativamente entre o tratamento completo e aquele com a omissão deste elemento. O maior teor de Mn foi obtido no tratamento com omissão de Ca, diferindo estatisticamente dos valores dos demais tratamentos. Resultado semelhante foi observado no Experimento 1 da presente pesquisa. Segundo Mass et al. (1969), citados por Salvador et al. (2003), o cálcio, o magnésio e o manganês têm valência e raio iônico semelhantes, podendo competir pelo mesmo sítio de absorção.

O zinco analisado nas folhas das plantas apresentou seus maiores teores nos tratamentos com omissão de N, P, K e completo, e menores teores nos tratamentos com omissão de Zn, Cu, S, Fe, Mn, B, Mg, Mo, Ca e testemunha, que diferiram significativamente dos valores obtidos no tratamento completo.

Nesta pesquisa, os teores de Fe analisados ficaram bem superiores aos descritos por Malavolta et al. (1997) para espécies florestais, indicando grande exigência nutricional das plantas de mogno africano por esse micronutriente. Os teores de Mn e Zn obtidos se encontram dentro da faixa de concentração considerada adequada pela literatura, e os teores de cobre ficaram um pouco abaixo da faixa considerada adequada para espécies florestais, de acordo com a referida fonte.

Ressalta-se que os teores foliares de macronutrientes e micronutrientes obtidos no Experimento 2 (Tabelas 16 e 17) divergiram dos valores encontrados no Experimento 1, provavelmente porque este último foi conduzido a partir de mudas maduras, no estágio de serem plantadas em definitivo no campo, e que já possuíam uma reserva (estoque) de nutrientes, diferentemente do que não ocorreu no Experimento 1, onde foram avaliadas mudas de *K. ivorensis* obtidas a partir da semeadura direta nos tubetes, contendo substrato inerte na fase pré-adição das substâncias nutritivas.

4.2.3. Sintomas visuais das deficiências nutricionais

4.2.3.1 Nitrogênio

As plantas supridas com solução nutritiva sem nitrogênio ficaram pouco desenvolvidas, com caule fino e folhas pequenas. Após 45 dias de uso da solução nutritiva sem N, as plantas começaram a apresentar sintomas de deficiência. Esses sintomas foram observados primeiramente nas folhas mais velhas, com clorose seguida de necrose nas margens, e senescência. Posteriormente, esses sintomas foram observados também nas folhas jovens. Estas mostraram-se pequenas, com coloração vermelho-pálido. Com o decorrer do tempo esses sintomas se tornaram generalizados em toda a planta e foi possível observar, também, a pouca quantidade de brotações novas e caule tortuoso (Figura 14).

Sintomas semelhantes a esses foram descritos por Simões & Couto (1973), em pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*), cujas plantas com deficiência em nitrogênio apresentaram-se pouco desenvolvidas, com clorose acentuada e generalizada. O amarelecimento

iniciou-se pelas acículas mais velhas, tanto do caule como dos ramos laterais. Reduziu o crescimento vegetativo, enquanto os ponteiros permaneciam levemente mais verdes, em contraste com a clorose restante. Com o progresso da deficiência iniciou, também pelas folhas mais velhas, um crestamento a partir do ápice, progredindo para a base do limbo e atingindo a bainha, dando aspecto de folhas, um crestamento a partir do ápice, eram curtos, com ramos pequenos, fracos e sem ramificação secundária.

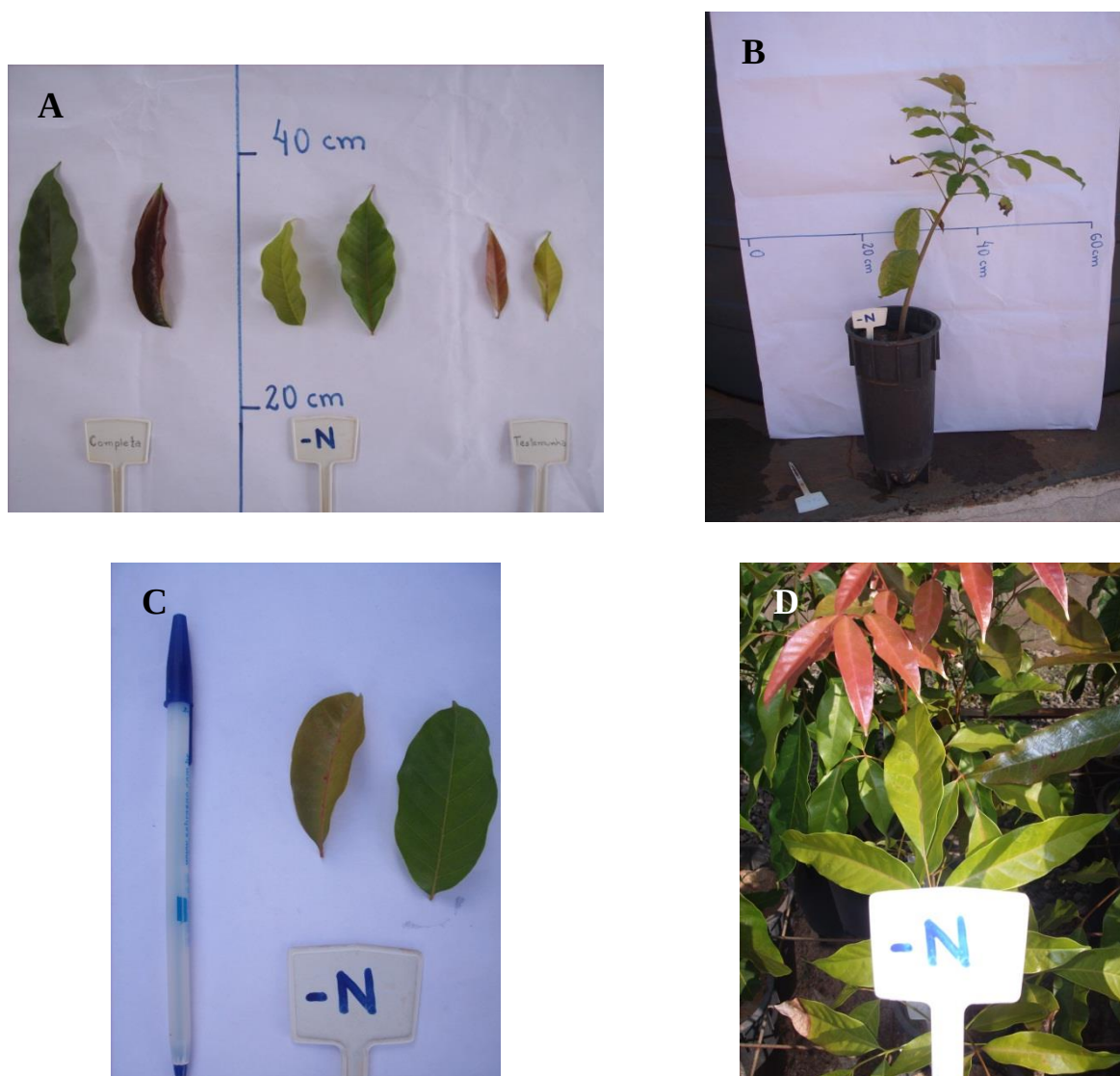


Figura 14. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) Folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de nitrogênio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de nitrogênio. Goiânia-GO, 2011.

Avaliando o crescimento e caracterizando os sintomas de deficiência de macro e micronutrientes em mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas*), Silva et al. (2009) constataram que a deficiência de N provocou severa diminuição no crescimento das plantas, quando comparado ao das plantas nutridas com solução completa. O sintoma de deficiência de N caracterizou-se por clorose generalizada nas folhas mais velhas, seguida de necrose. Segundo esses autores, os sintomas de deficiência são manifestações exteriores de eventos bioquímicos que ocorrem em nível molecular e celular, nos tecidos vegetais. Isso faz com que os sintomas de deficiências ocorram em plantas de espécies diferentes, uma vez que os processos bioquímicos exercem funções específicas, que variam pouco entre espécies.

Em mudas de *Eucalyptus citriodora*, Maffeis et al. (2000) observaram que na falta de nitrogênio, inicialmente as folhas mais velhas apresentaram coloração verde-clara, que com o tempo progredia para um amarelecimento generalizado, proporcionando rápida senescência das folhas.

Segundo Viégas et al. (2004), em experimento com camucamuzeiro sob omissão de N, foi observado que as folhas mais velhas apresentaram coloração verde-amarelada e, com a intensidade da deficiência, as lâminas foliares ficaram totalmente amareladas. Malavolta et al. (1997) afirmam que a coloração amarelada está associada à menor produção de clorofila e às modificações na forma do cloroplasto.

Conduzindo um ensaio aplicando soluções nutritivas, com omissão de N, em mudas de mogno brasileiro, Wallau et al. (2008) observaram que o crescimento praticamente estabilizou e as plantas ficaram com porte reduzido e com folhas pequenas, quando comparadas com as plantas do tratamento com solução nutritiva completa. Segundo Raij (1991), citado por Wallau et al. (2008), a redução no crescimento deve-se ao fato desse nutriente participar da reação de síntese protéica e a inibição dessa síntese reduz o processo de divisão celular, afetando o crescimento da planta.

Mudas de teca (*T. grandis*) submetidas ao tratamento com solução nutritiva com omissão de nitrogênio foram avaliadas por Barroso et al. (2005), que observaram a ocorrência de redução drástica do crescimento, clorose generalizada, paralisação de emissão de raízes novas e apodrecimento das raízes secundárias. Moretti et al. (2011) observaram redução generalizada no diâmetro do caule e no desenvolvimento de raízes em plantas de cedro cultivadas com omissão de N.

4.2.3.2 Fósforo

A solução nutritiva sem fósforo aplicada nas plantas de mogno africano provocou, nestas, os primeiros sintomas de deficiência aos 65 dias após o início de sua aplicação. As plantas apresentavam-se aparentemente bem desenvolvidas com folhas velhas com limbo foliar levemente afilado e coloração verde escura, característica de plantas com deficiência em P. As folhas novas possuíam tamanho reduzido e coloração avermelhada, com pontuações vermelhas escuras. Com o decorrer do tempo as plantas começaram a apresentar poucas brotações, embora o caule tenha permanecido ereto durante todo o período experimental (Figura 15).

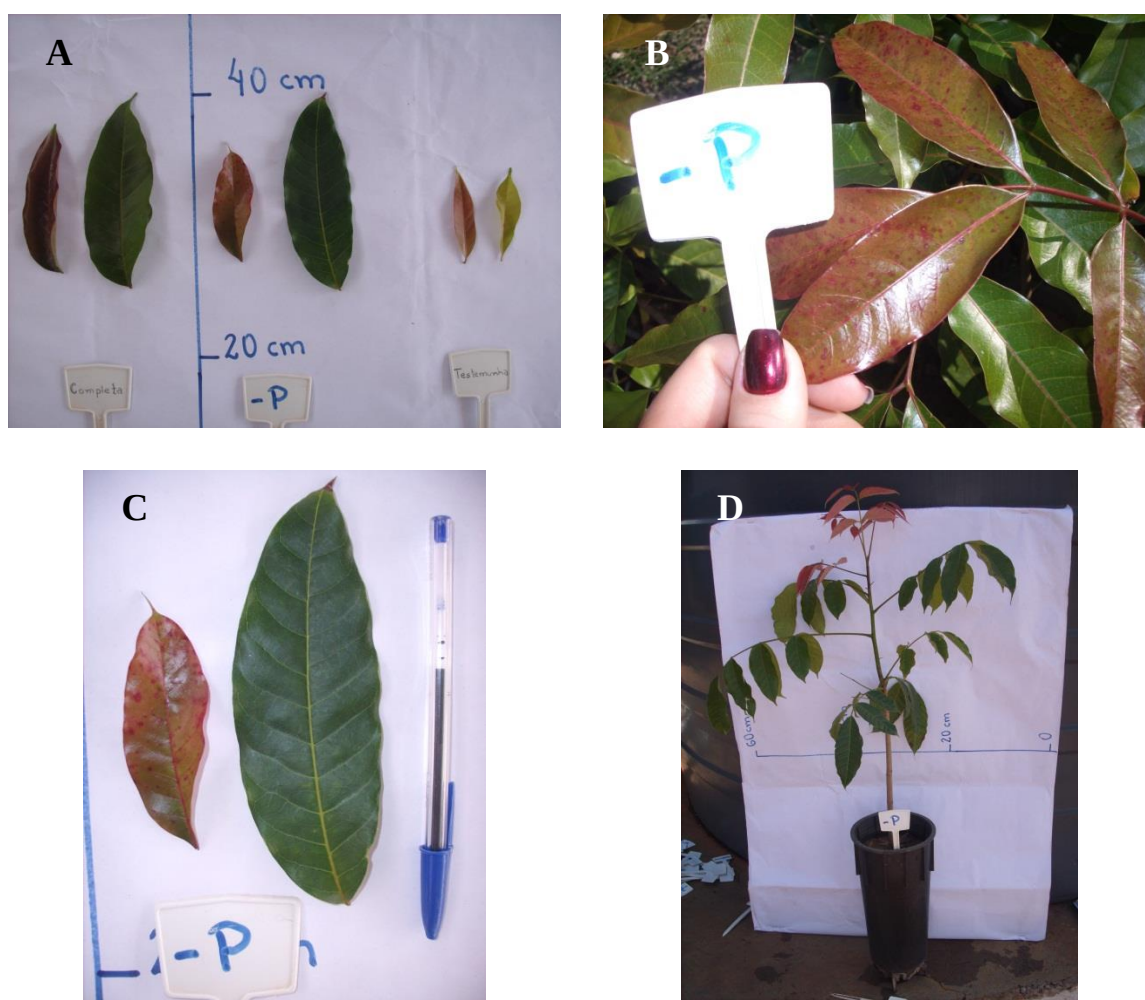


Figura 15. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de fósforo e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de fósforo. Goiânia-GO, 2011.

Plantas de gravioleira (*A. muricata*), na fase de mudas, nutridas com solução nutritiva com omissão de P, foram avaliadas por Batista et al. (2003), que observaram redução na altura das plantas, e folhas superiores mais estreitas, bordos curvados e ápices para baixo. As folhas inferiores, paralelas ao caule, apresentaram coloração verde-clara.

Para Sarcinelli et al. (2004) não foram observados sintomas de deficiência de P em mudas de acácia cultivadas em solução nutritiva com omissão de P, salientando que, possivelmente, a reserva de P inorgânico foi suficiente para evitar os sintomas de deficiência nutricional nas plantas.

Sintomas diferentes foram descritos por Silva et al. (2009) em mudas de pinhão-manso, a partir de 40 dias de aplicação do tratamento, com o aparecimento da coloração arroxeadada nos bordos e na parte abaxial das folhas velhas, evoluindo para necrose nas folhas afetadas. Silveira et al. (2002) observaram cor verde-escuro seguida de arroxejamento nas folhas velhas de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* cultivados em solução nutritiva com omissão de P. Esse sintoma de arroxejamento é decorrente do acúmulo de antocianina, comum também em outras espécies com deficiência de P (Wasaki et al., 2003; Marschner, 1995, citados por Silva et al., 2009).

Avaliando cedro australiano (*T. ciliata*), Moretti et al. (2011) observaram que a carência de P limitou o crescimento das plantas, com menor número de folhas e a raiz principal mais longa e com poucas raízes laterais. As folhas das plantas deficientes em P apresentaram tonalidade amarelada, com pouco brilho e, posteriormente, arroxeadada.

Segundo Wallau et al. (2008), não foram observados sintomas de deficiência em mudas de *Swietenia macrophylla* sob omissão de P. Para Grespan (1997), citado por Wallau et al. (2008), espécies arbóreas tendem a apresentar elevada capacidade de absorção de P em sua fase inicial de crescimento, podendo, inclusive, apresentar significativo potencial de acúmulo de P-inorgânico no vacúolo das células. Além disso, as sementes contêm uma reserva de fósforo (P-fitina) que pode fornecer quantidade suficiente desse nutriente, na fase inicial de seu desenvolvimento.

4.2.3.3 Potássio

As plantas submetidas ao tratamento com omissão de potássio apresentaram poucos sintomas visuais de deficiência deste elemento. Durante a condução dos ensaios, as plantas mantiveram-se bem desenvolvidas, com lançamentos novos vigorosos, sem

deformações e tortuosidades no caule. As folhas jovens apresentaram leve diminuição no limbo foliar e algumas folhas velhas apresentaram hipertrofia do limbo (Figura 16).

Os resultados encontrados neste experimento divergem daqueles obtidos no experimento 1, no qual as plantas submetidas ao tratamento com omissão de potássio apresentaram redução em seu crescimento total e folhas novas e velhas com tamanho reduzido, além de apresentarem clorose, seguida de necrose das pontas e margens, progredindo até atingir as folhas intermediárias, que secaram a partir da ponta até a base.

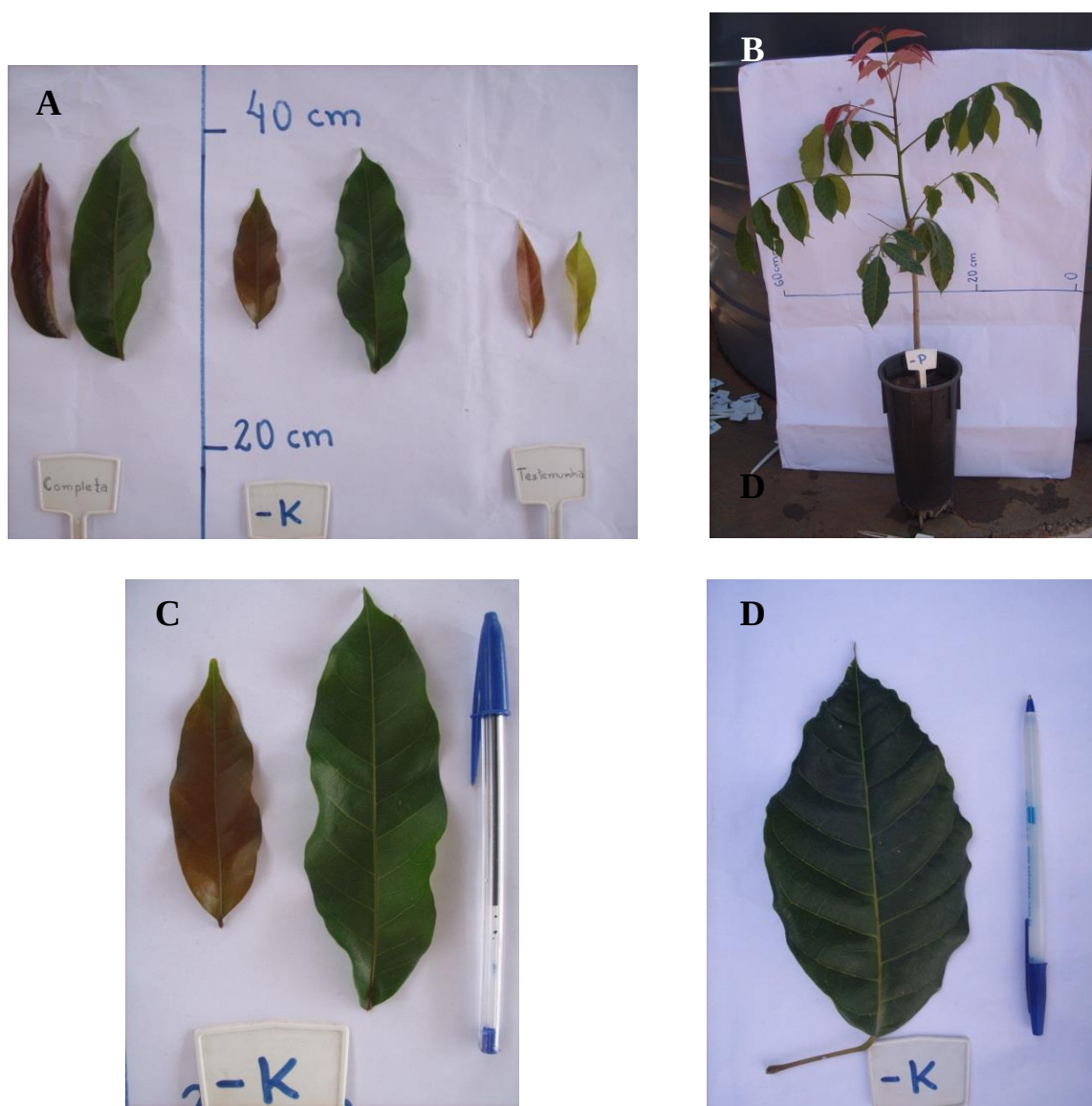


Figura 16. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos; A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de potássio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de potássio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de potássio; D) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de potássio. Goiânia-GO, 2011.

Esses sintomas de clorose marginal nas folhas velhas, com posterior necrose das bordas nas plantas cultivadas em solução nutritiva com omissão de K também foram relatados por Salvador et al. (1994) em plantas de cupuazeiro, por Gonçalves et al. (2006) em umbuzeiro e por Silva et al. (2009) em pinhão-manso.

Em plantas de gravioleira, Batista et al. (2003) descreveu a deficiência inicial de potássio como um esverdeamento intenso da folhagem, com pequena redução no tamanho das folhas novas. Nas folhas mais velhas, a partir do ápice, observou-se clorose marginal, avançando em direção à parte central por entre as nervuras, de coloração verde-amarela, alterando para marrom, posteriormente, como consequência da necrose. Com o avanço da deficiência, ocorreram a queda das folhas basais e a paralisação do crescimento.

4.2.3.4 Cálcio

No tratamento com omissão de cálcio as plantas começaram a evidenciar os primeiros sintomas de deficiência aos 60 dias após o início da irrigação com a solução nutritiva, apresentando folhas novas com tamanho reduzido, coloração acobreada e nervuras verdes acentuadas. As folhas velhas apresentaram “pregueamento” nas bordas. A arquitetura da planta foi comprometida pela tortuosidade do caule e pelas bifurcações no ápice (Figura 17).

Segundo Faquin (2005), os sintomas de deficiência de Ca se expressam nos pontos de crescimento da parte aérea e da raiz e em frutos em desenvolvimento. Os sintomas podem apresentar-se como deformações nas folhas novas, clorose ou queimadura de uma região limitada nas margens das folhas, morte das gemas apicais e extremidade das raízes.

Em mudas de pupunheira com omissão do nutriente cálcio, Silva & Falcão (2002) observaram a formação de “pregueamento” nas folhas novas, crescimento desigual e formas tortas com gancho na ponta, concordando com os resultados encontrados nesta pesquisa. No presente trabalho o “pregueamento” ficou mais evidente nas folhas velhas.

Pequenas anormalidades nas plantas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* com omissão de cálcio, foram observadas por Silveira et al. (2002) quanto ao crescimento, o que também ocorreu nesta pesquisa. Esses autores observaram, também, que as folhas novas apresentavam-se deformadas e retorcidas, e a morte da gema apical.

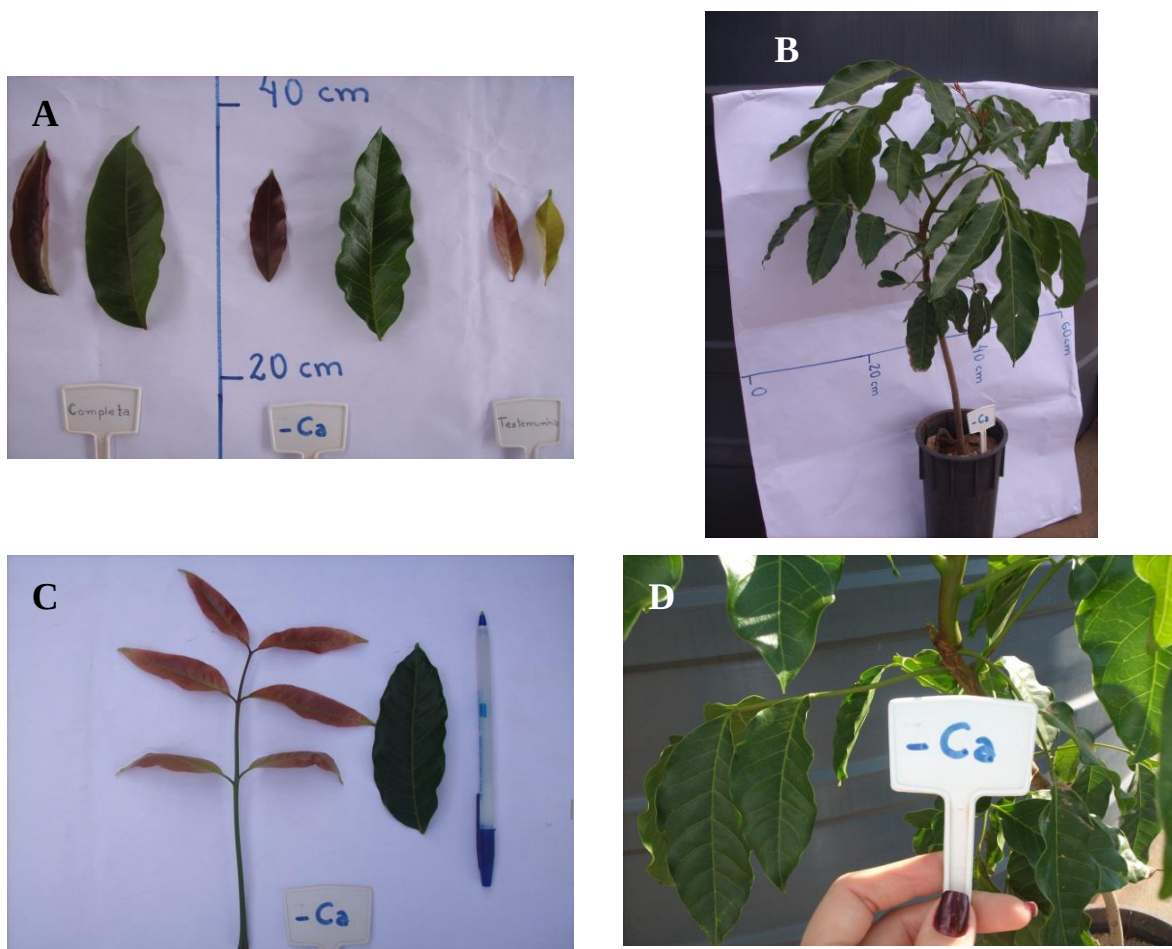


Figura 17. Mudras de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cálcio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio; D) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cálcio. Goiânia-GO, 2011.

Segundo Mengel & Kirkby (1987), citados por Batista et al. (2003), a falta de cálcio é caracterizada pela redução do crescimento dos tecidos meristemáticos, sendo observada, inicialmente, nas extremidades e folhas jovens. Com a evolução dos sintomas, houve queda prematura das folhas e as plantas paralisaram o desenvolvimento apical.

4.2.3.5 Magnésio

As plantas submetidas ao tratamento com omissão de magnésio apresentaram poucos sintomas de deficiência nutricional de Mg. Elas se desenvolveram bem e apresentavam folhas velhas com coloração verde intenso. As folhas novas apresentavam

coloração verde clara, diferente da coloração avermelhada característica da espécie. Ao final do período de avaliação as folhas mais velhas começaram a apresentar leve clorose internerval por todo o limbo (Figura 18).

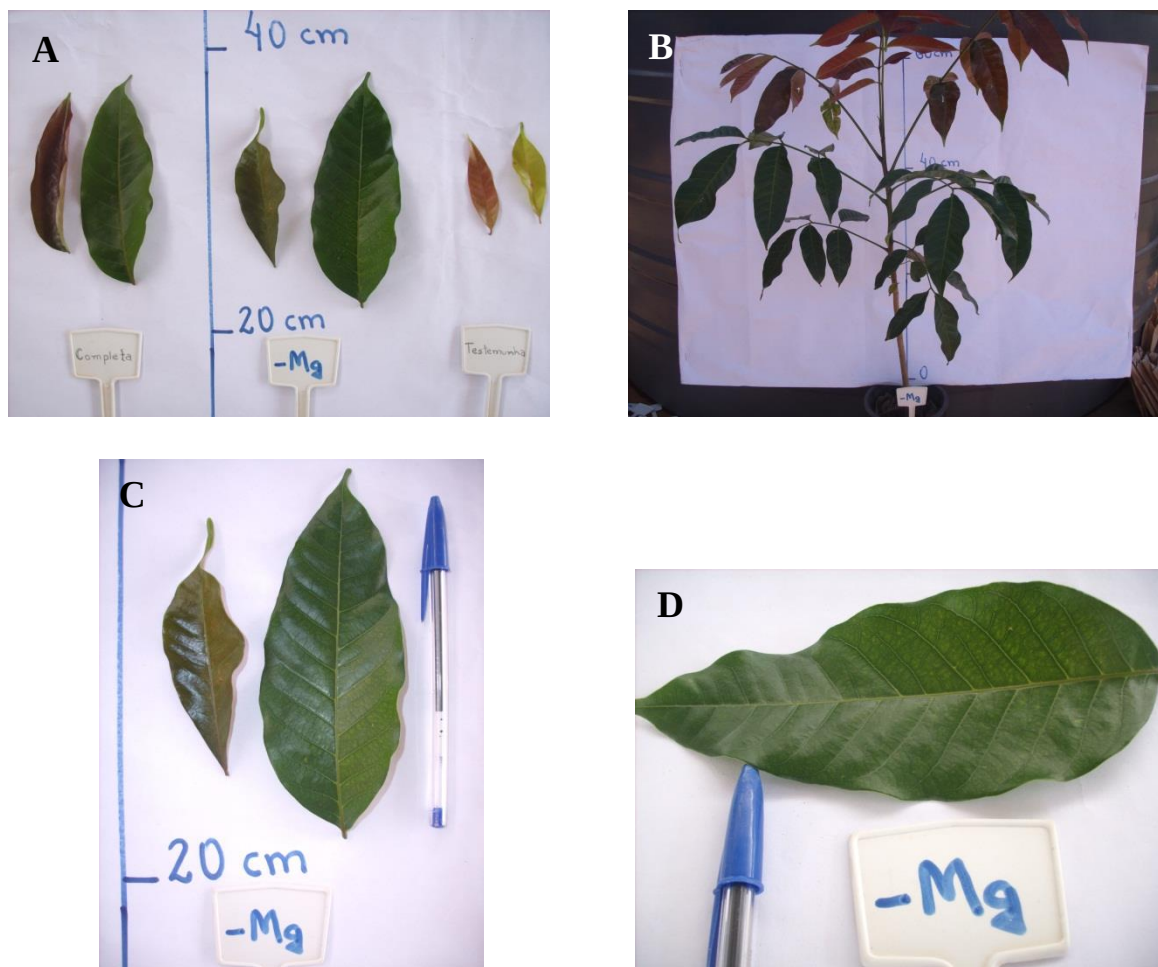


Figura 18. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de magnésio e testemunha; B) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de magnésio; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de magnésio; D) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de magnésio. Goiânia-GO, 2011.

Sintomas semelhantes de clorose internerval nas folhas velhas também foram observados em plantas de cupuaçuzeiro (Salvador et al., 1994), pupunheira (Silva & Falcão, 2002), umbuzeiro (Gonçalves et al., 2006), pinhão-mansó (Silva et al., 2009), gravioleira (Batista et al., 2003) e teca (Barroso et al., 2005), submetidas à omissão de Mg.

Porém, Wallau et al. (2008) observaram pontos cloróticos e necrose nas pontas das folhas velhas de *S. macrophylla* submetidas a solução nutritiva sem Mg.

Sintomas de deficiência de magnésio, como clorose ao longo das bordas das folhas mais velhas, amarelecimento entre as nervuras secundárias e necrose pela intensificação da deficiência, foram constatados por Viégas et al. (2004), em mudas de camucamuzeiro.

Avaliando a omissão de magnésio em mudas de cedro australiano, Moretti et al. (2011) também observaram que os sintomas de deficiência manifestam-se primeiro nas folhas mais velhas, como clorose internerval, e observaram que a altura das plantas foi inferior no tratamento com a omissão deste nutriente.

4.2.3.6 Enxofre

Observou-se que no tratamento com omissão de enxofre as plantas começaram a apresentar os primeiros sintomas de deficiência de S aos 60 dias após o início da utilização da solução nutritiva. As plantas ficaram pouco desenvolvidas com internódios curtos e poucas brotações. As folhas velhas tiveram seu tamanho reduzido e apresentaram clorose generalizada, com nervuras aparentes. As folhas novas apresentaram deformações e coloração vermelha-pálida com pontuações vermelho-escuras por todo o limbo (Figura 19).

De acordo com Silva & Falcão (2002), em experimento com pupunheira foi observado, primeiramente, clorose nas folhas novas, seguido de enrolamento das margens de todas as folhas. Malavolta et al. (1980) descreveram sintomas parecidos em experimento com feijão (*Phaseolus vulgaris*) em tratamento com omissão de enxofre, relatando que houve encurvamento das folhas e pequenas áreas necróticas nos folíolos.

A clorose nas folhas jovens foi observada em plantas de camucamuzeiro (Viegas et al., 2004), acácia (Sarcinelli et al., 2004) e cupuaçuzeiro (Salvador et al., 1994) não supridas com enxofre. A formação de gemas dormentes no ponteiro das plantas de cupuaçuzeiro também foi relatada por Salvador et al. (1994).

A carência de enxofre, segundo Faquin (2005), provoca uma série de distúrbios metabólicos, como a diminuição na síntese de proteínas e açúcares, o acúmulo de N-orgânico solúvel e N-NO_3^- e, com isto, a redução no crescimento da planta. A fixação biológica do

N_2 atmosférico é bastante diminuída sob condições de deficiência de enxofre, e a síntese de gorduras também é afetada.

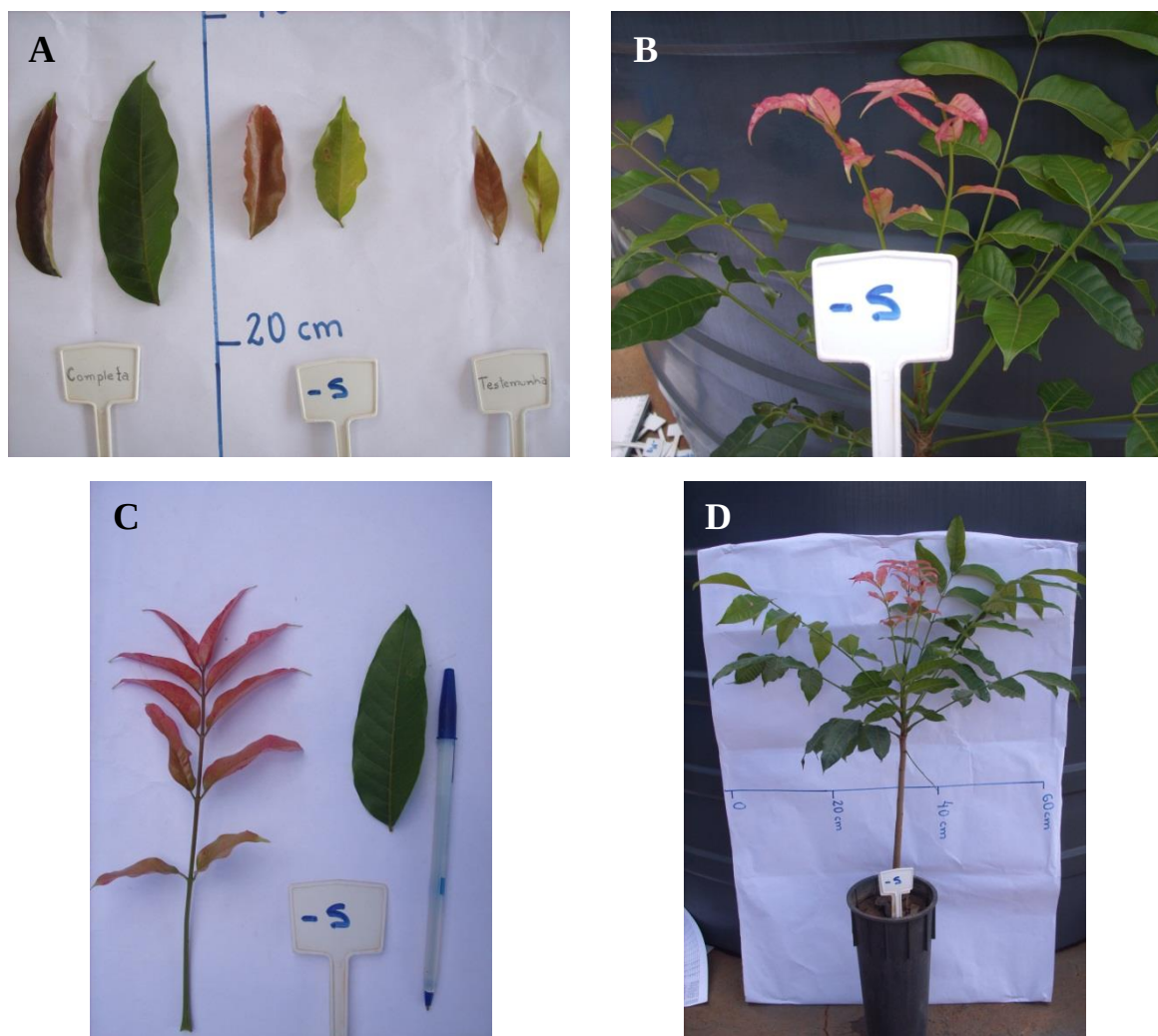


Figura 19. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de enxofre e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de enxofre. Goiânia-GO, 2011.

4.2.3.7 Ferro

Quando o tratamento consistiu na omissão de ferro na solução nutritiva, as plantas mostraram os primeiros sintomas de deficiência de ferro aos 60 dias após o início da utilização da solução nutritiva, constatando-se a diminuição do crescimento e folhas

novas e velhas de tamanho reduzido. As folhas novas apresentavam deformações nas margens do limbo foliar e as folhas velhas ficaram tortuosas, coriáceas e com aspecto rugoso, apresentando clorose acentuada por todo o limbo. Com o avanço da deficiência, as folhas jovens ficaram com o limbo afinado e voltado para baixo com aspecto de flecha, além de perderem totalmente a coloração avermelhada característica da espécie. As plantas ficaram com os internódios curtos, prejudicando o seu desenvolvimento (Figura 20).

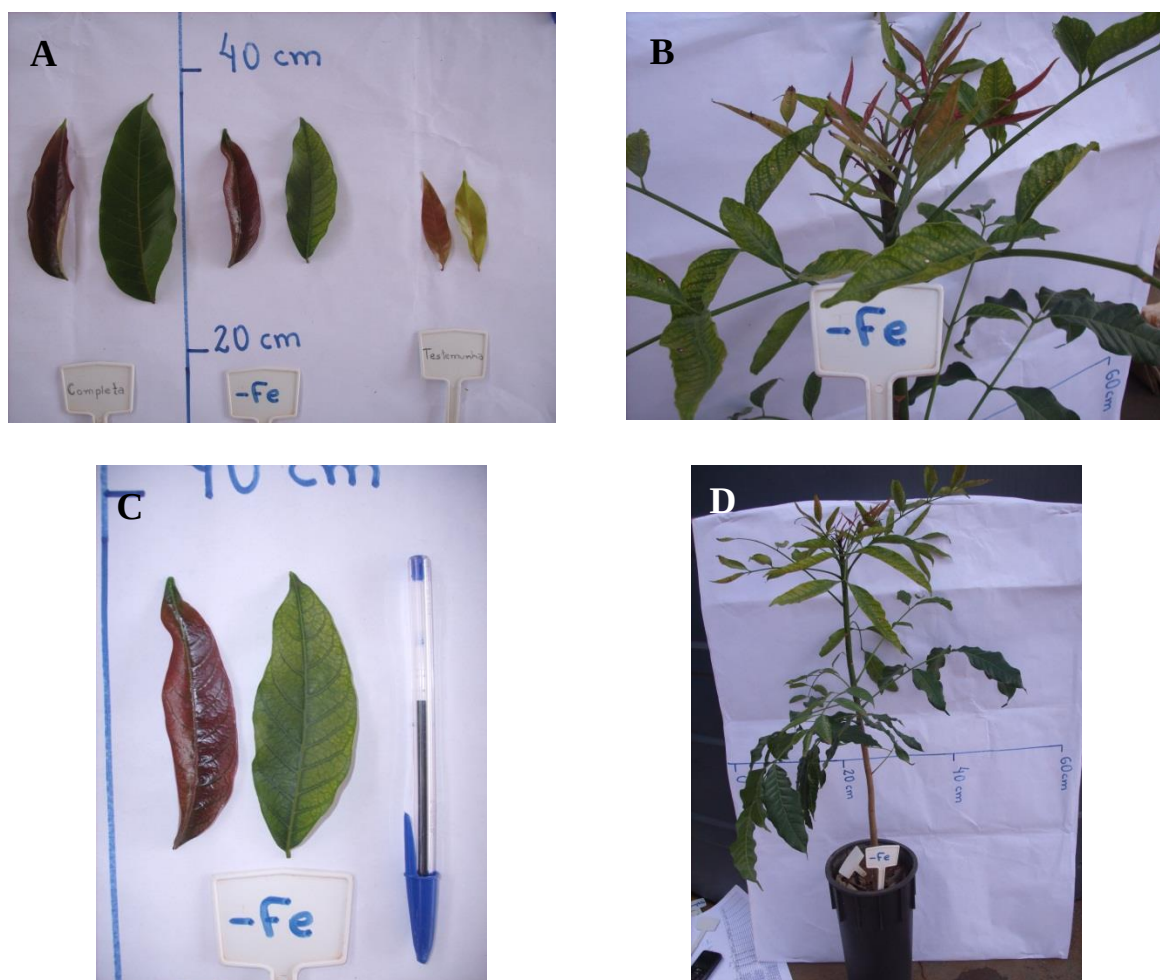


Figura 20. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de ferro e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de ferro. Goiânia-GO, 2011.

Resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa foram verificados por Lange et al. (2005) em mudas de mamoneira (*Ricinus communis*) tratadas em solução nutritiva sem

ferro, em que as folhas jovens deficientes mostraram redução do crescimento, clorose internerval com aparência de reticulado fino, ou seja, nervuras com coloração verde-escura, enquanto o restante do limbo foliar apresentava-se amarelado. No estágio final de desenvolvimento, houve necrose na ponta do limbo e nas margens das folhas. A necrose evoluiu para a região central da folha, provocando, em alguns casos, a queda destas.

Sob deficiência de ferro há diminuição da clorofila e de outros pigmentos que captam luz, assim como das atividades de carregadores de elétrons dos fotossistemas. Portanto, a deficiência de ferro afeta inicialmente o desenvolvimento e a função do cloroplasto (Kirkby & Römheld, 2007).

4.2.3.8 Boro

As plantas de mogno africano submetidas ao tratamento com omissão de boro mostraram os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após o início da utilização da solução nutritiva, observando-se a diminuição do crescimento, além de folhas novas e velhas de tamanho reduzido. Com o avanço da deficiência as folhas jovens começaram a apresentar deformações por todo o limbo, com ondulações na lâmina foliar, enrolamento das bordas, alterações na forma e coloração acobreada. Os ponteiros ficaram bastante comprometidos na ausência de boro, com brotações laterais e morte da gema apical (Figura 21).

Na ausência de boro, Salvador et al. (1994) observaram que as mudas de cupuaçuzeiro perderam a dominância apical, originando três ou quatro ramos plagiotrópicos, com internódios curtos e folhas cada vez menores, e o caule dessas plantas apresentaram certo engrossamento. Silva et al. (2009) também observaram brotações laterais e morte prematura do meristema apical, além de clorose em folhas novas e seu encarquilhamento para cima, em mudas de pinhão manso. As folhas novas de mudas de camucamuzeiro com omissão de boro na solução nutritiva, de acordo com Viégas et al. (2004), ficaram retorcidas, atrofiadas, pequenas e grossas e, com a intensidade dos sintomas, ocorreu a morte do meristema apical do caule.

Segundo Silveira et al. (2002), em clones de eucalipto a carência de boro ficou caracterizada por folhas novas pequenas, deformadas, espessas, com clorose marginal e presença de nervuras salientes nas folhas medianas intermediárias. Houve, também, a morte da gema e perda da dominância apical. No estágio mais avançado da deficiência

ocorreu a morte do ponteiro apical e de ramos com o superbrotamento das gemas laterais ao longo do caule, formando tufos de brotos.

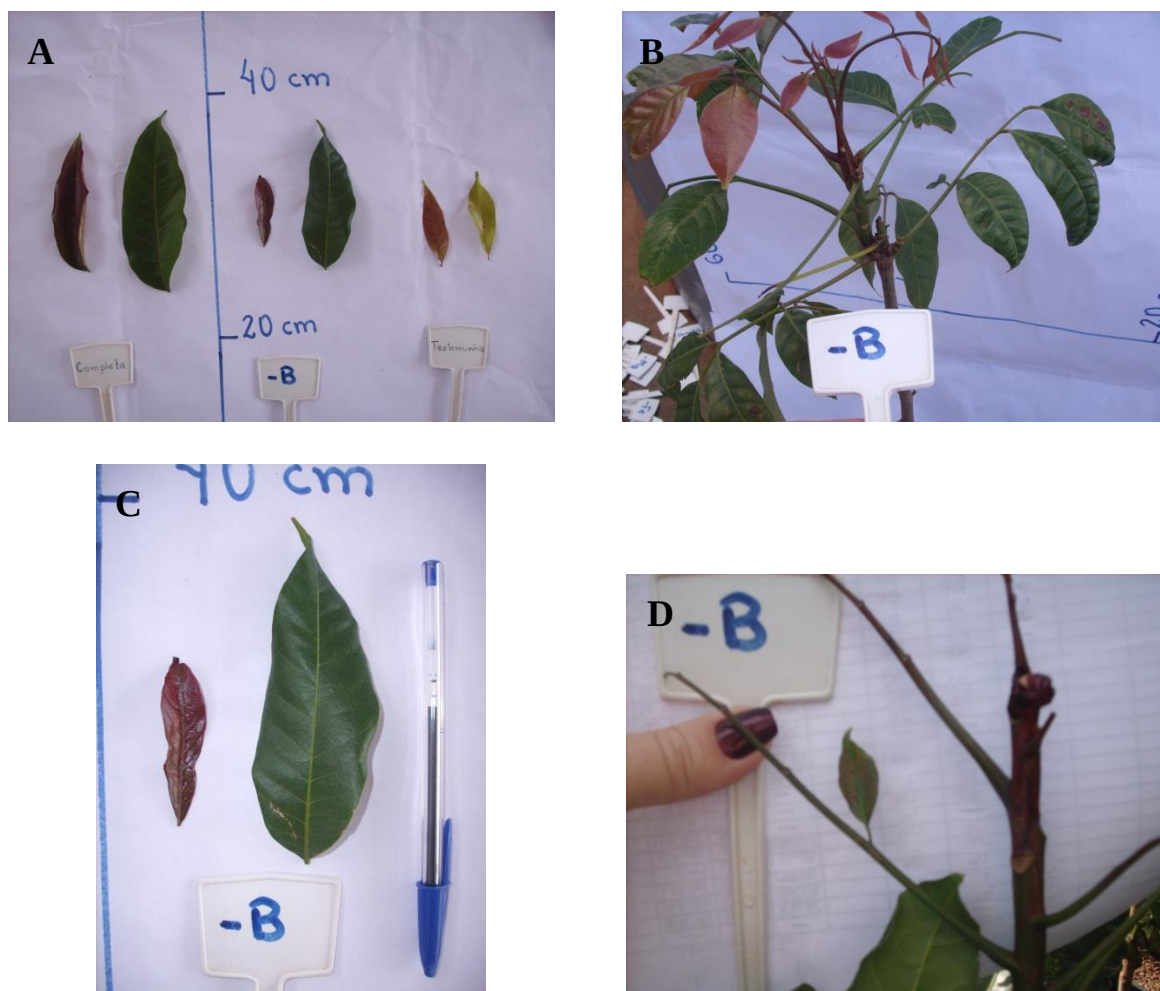


Figura 21. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de boro e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de boro; C) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de boro; D) aspecto geral de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de boro. Goiânia-GO, 2011.

Em muitas culturas, nas quais a mobilidade do B dentro da planta é baixa, as folhas mais jovens e as brotações terminais têm crescimento retardado ou necrose. Os internódios ficam mais curtos e as lâminas foliares deformadas. Os diâmetros dos caules e dos pecíolos ficam aumentados e isto pode levar à “rachadura da haste”. Além disso, a deficiência de B aumenta a queda de botões florais, flores e frutos em desenvolvimento, bem como o insucesso do estabelecimento de sementes e de frutos, segundo Kirkby & Römheld (2007).

4.2.3.9 Cobre

Verificou-se que as plantas submetidas ao tratamento com omissão de cobre começaram a apresentar os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após o início da utilização da solução nutritiva, tendo folhas novas e velhas de tamanho reduzido, folhas novas com coloração acobreada, ressecadas e aspecto coriáceo. As folhas jovens apresentaram deformações no limbo, com ondulações na lâmina foliar e bordas recortadas (Figura 22).

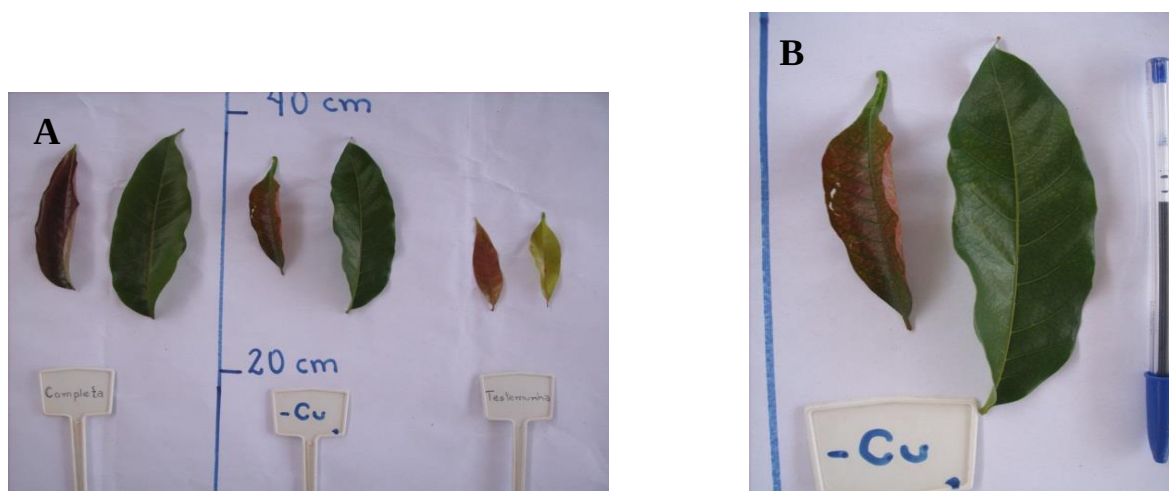


Figura 22. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de cobre e testemunha; B) folhas de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de cobre. Goiânia-GO, 2011.

Em mudas de pupunheira e mamoneira, respectivamente, Silva & Falcão (2002) e Lange et al. (2005) não observaram sintomas de deficiência de cobre, enfatizando a possível baixa exigência dessas espécies por esse micronutriente. No entanto, Silva et al. (2009) descreveram os sintomas de deficiência de cobre como o aparecimento de engrossamento das nervuras, clorose internerval, manchas avermelhadas e encarquilhamento das folhas jovens de plantas de pinhão-mansão.

Foram observadas, por Salvador et al. (1999), áreas cloróticas e esparsas nas folhas mais novas de mudas de goiabeiras. À medida que a deficiência de cobre se agravou, os limbos foliares mostraram uma superfície enrugada ou deformada, com saliências ou proeminências das nervuras secundárias, formando as chamadas “costelas”. A morte precoce das gemas terminais induziu a emissão de gemas vegetativas axilares

múltiplas, originando brotações com folhas diminutas, mais arredondadas e com crestamento na ponta. Outro tipo de manifestação foliar, decorrente da ausência de cobre nas plantas consistiu na formação e irradiação de uma mancha clorótica através das nervuras central e secundárias, em direção aos pontos periféricos da folha. Em condições de extrema carência, as folhas mais velhas apresentaram aspecto normal, porém mais escuras quando comparadas às do tratamento com a solução nutritiva completa. Algumas folhas da região mediana mostraram um amarelecimento, formando uma extensa mancha clorótica, que dividiu o limbo em dois tons distintos: verde-escuro e verde-pálido.

4.2.3.10 Manganês

As plantas de mogno africano não supridas com manganês mostraram os primeiros sintomas de deficiência aos 40 dias após o início da utilização da solução nutritiva, apresentando folhas novas com tamanho reduzido, deformadas e com coloração amarelo-esverdeada, diferente do tom avermelhado característico da espécie. Nas folhas velhas formaram-se pontos cloróticos por todo o limbo foliar. As plantas se mantiveram eretas e sem bifurcações até o final do período de avaliação (Figura 23).

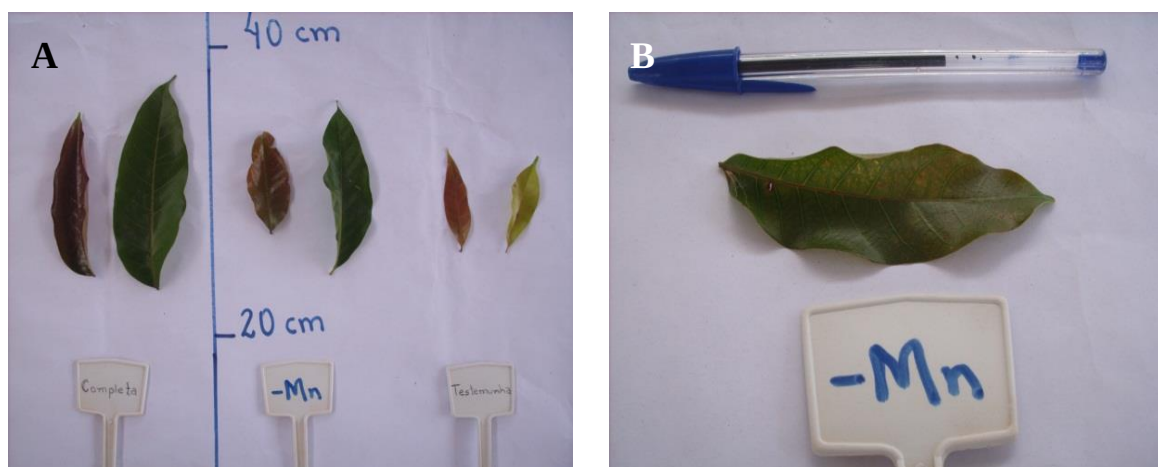


Figura 23. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de manganês e testemunha; B) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de manganês. Goiânia-GO, 2011.

De acordo com Lange et al. (2005), as folhas mais novas de plantas de mamoneiras, submetidas à solução nutritiva com omissão de Mn, apresentaram clorose internerval com aparência de reticulado grosso, ou seja, as nervuras e áreas adjacentes tornaram-se verde-escuras, enquanto o restante do limbo foliar apresentava-se amarelado. Esses resultados são concordantes com os encontrados nesta pesquisa.

Para Kirkby & Römheld (2007), mesmo deficiências leves de Mn afetam a fotossíntese e diminuem o nível de carboidratos solúveis nas plantas, mas o resuprimento deste micronutriente reativa a fotossíntese. Com deficiência mais severa de Mn ocorre uma quebra na estrutura do cloroplasto que não pode ser revertida. Os cloroplastos são as mais sensíveis de todas as organelas celulares à deficiência de Mn, o que leva à desorganização do sistema lamelar e a sintomas visíveis de clorose. A deficiência de Mn, portanto, se parece com a deficiência de Mg, pois em ambas ocorre clorose internerval nas folhas. Porém, em contraste com a deficiência de Mg, os sintomas da deficiência de Mn são primeiramente visíveis nas folhas mais jovens, enquanto na deficiência de Mg as folhas mais velhas são afetadas primeiro. Nas dicotiledôneas, frequentemente aparecem pequenas manchas amarelas nas folhas mais jovens.

4.2.3.11 Zinco

A omissão de zinco na solução nutritiva aplicada em plantas de mogno africano começou a evidenciar os primeiros sintomas dessa deficiência aos 40 dias após o início da utilização da solução nutritiva, havendo diminuição do crescimento das plantas, e folhas novas estreitas e alongadas, com coloração vermelho-esverdeada e nervuras bastante evidentes. As folhas velhas sofreram deformações com ápice arredondado, bordos voltados para baixo e nervuras salientes. Ao final do experimento as plantas apresentavam encurtamento dos internódios (Figura 24).

Em mudas de goiabeira submetidas à omissão de zinco, Salvador et al. (1999) observaram folhas jovens pequenas, mais estreitas e pontiagudas, com nervuras salientes e encurvamento da lâmina para cima e, às vezes, para baixo ao longo da nervura principal, com as margens voltadas para a face central; mostraram, também, uma forte clorose internerval com as nervuras bem realçadas de verde e manchas ou pequenas pontuações castanhas distribuídas pelo limbo. Ocorreu a formação de ramos finos e atrofiamento

vegetativo, gerando plantas anãs e descaracterizadas. Esses resultados são parcialmente semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

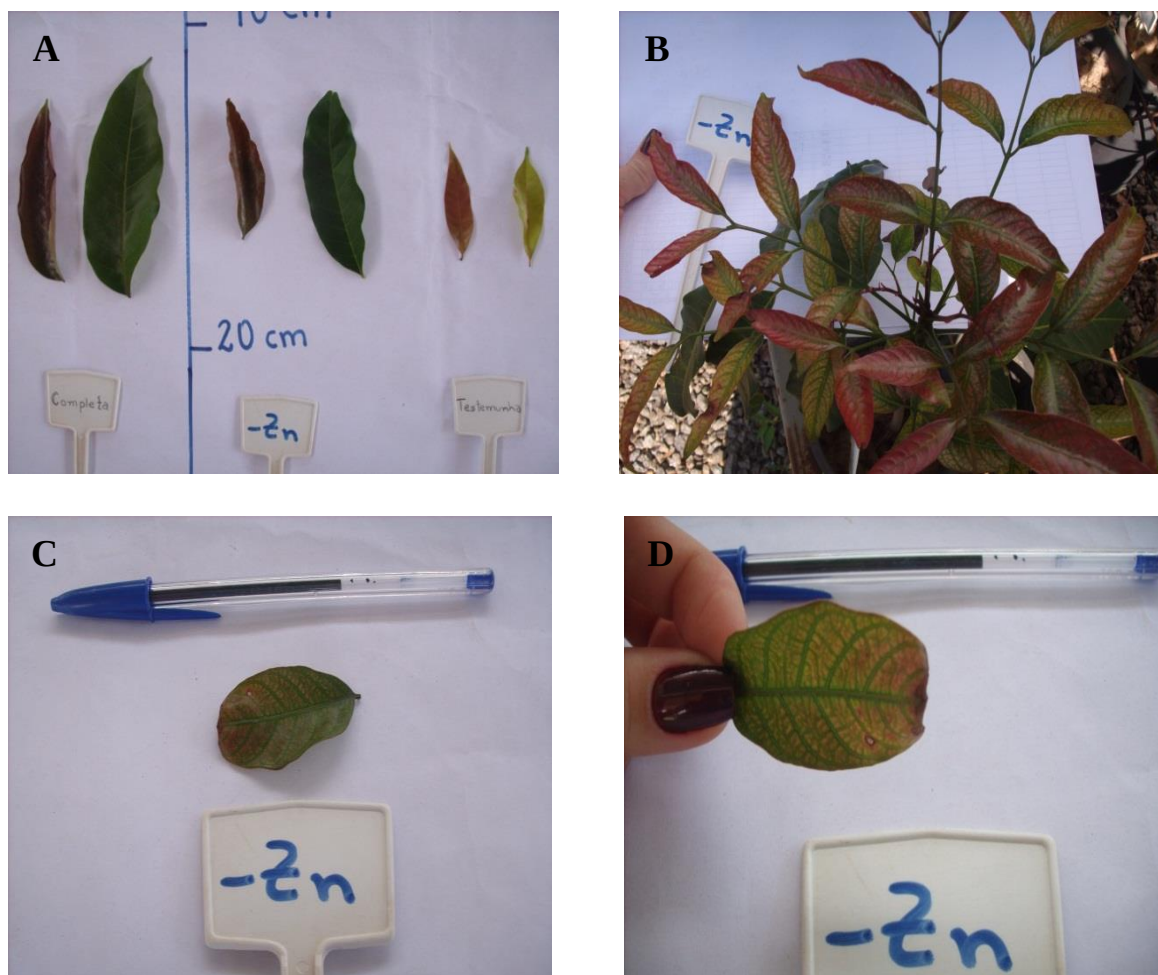


Figura 24. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas s com soluções nutritivas completa, com omissão de zinco e testemunha; B) aspecto da parte aérea de plantas supridas com solução nutritiva com omissão de zinco; C) folha jovem de planta supridas com solução nutritiva com omissão de zinco; D) folha jovem de planta suprida com solução nutritiva com omissão de zinco. Goiânia-GO, 2011.

Devido a pouca mobilidade, os sintomas de deficiência de zinco se manifestam nas folhas mais novas. Os sintomas mais típicos da carência deste elemento consistem no encurtamento dos internódios e na produção de folhas novas pequenas, cloróticas e lanceoladas e formação de tufos na ponta de ramas das plantas perenes (roseta de laranjeiras, cafeeiro e pessegueiro) ou plantas anãs (milho, arroz, cana de açúcar), de acordo com Faquin (2005).

4.2.3.12 Molibdênio

As plantas não supridas com molibdênio mostraram os primeiros sintomas de deficiência aos 60 dias após o início da utilização da solução nutritiva, observando-se a diminuição em seu crescimento, folhas jovens e velhas apresentando clorose. Com o avanço da deficiência desse nutriente, as folhas jovens apresentaram deformações com margens recortadas e voltadas para cima e as folhas velhas apresentam necrose que progrediam do ápice para a base. Ao final do experimento, as plantas apresentavam encurtamento dos internódios, bifurcações e morte da gema apical (Figura 25).

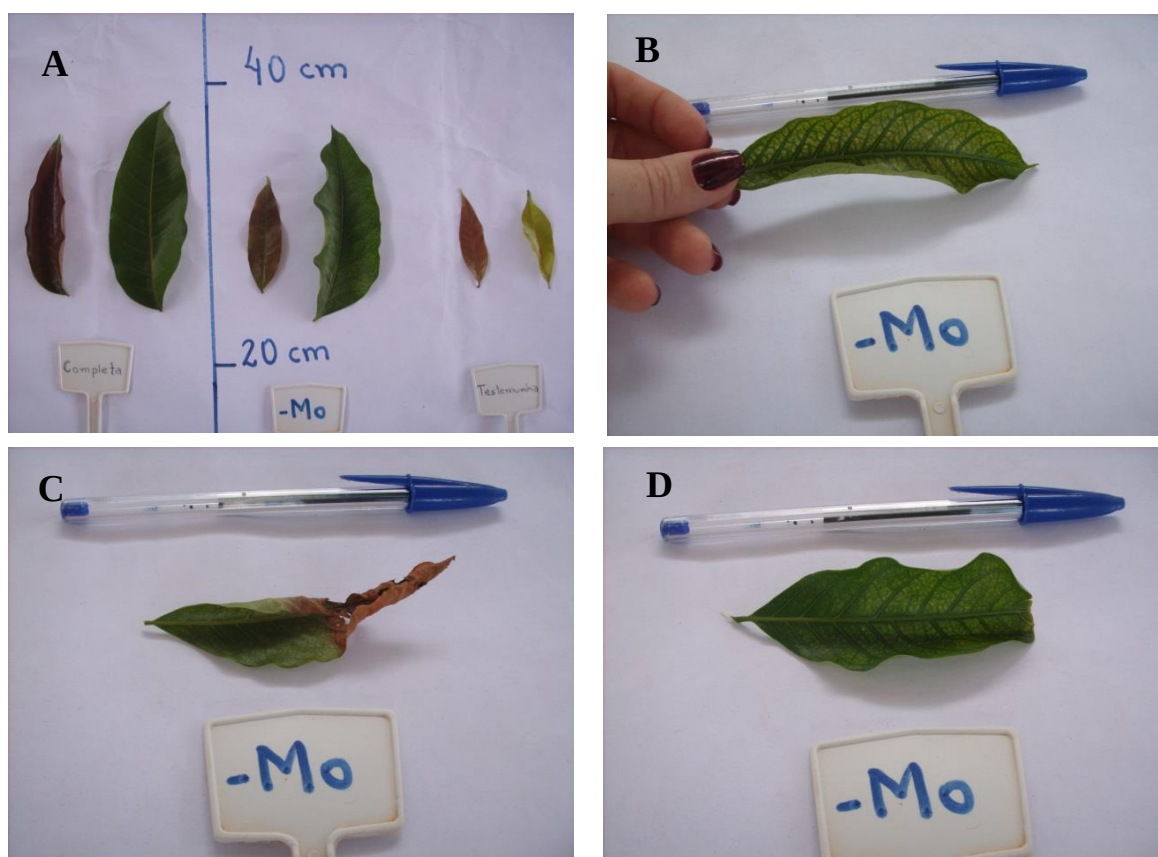


Figura 25. Mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis*) submetidas a diferentes tratamentos: A) folhas adultas e jovens de plantas supridas com soluções nutritivas completa, com omissão de molibdênio e testemunha; B) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de molibdênio; C) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de molibdênio; D) folha adulta de planta suprida com solução nutritiva com omissão de molibdênio. Goiânia-GO, 2011.

Avaliando a omissão de molibdênio na solução nutritiva aplicada em mudas de mamoneiras, Lange et al. (2005) não observaram sintomas de deficiência de Mo, sugerindo o acúmulo desse nutriente durante a fase anterior em que as plantas tinham sido tratadas com solução nutritiva completa. Salvador et al. (1999) também não verificaram indício de deficiência de Mo em plantas de goiabeira, atribuindo esse evento ao curto período do experimento, à reserva desse micronutriente adquirida na fase de preparo das mudas, à quantidade do mesmo existente na semente, ou, ainda, em decorrência da contaminação dos sais utilizados.

Segundo Kirkby & Römheld (2007), alguns aspectos do papel do Mo nas plantas ainda não são completamente entendidos. Em várias culturas, a deficiência de Mo parece afetar mais a fase reprodutiva do que o crescimento vegetativo. Os sintomas de deficiência de Mo diferem entre as espécies de plantas, mas mosqueado internerval, clorose marginal das folhas mais velhas e enrolamento para cima das margens das folhas são considerados sintomas típicos. Com o agravamento da deficiência, aparecem manchas necróticas nas pontas e margens das folhas, associadas a altas concentrações de nitrato no tecido.

5 CONCLUSÕES

No Experimento 1 as omissões isoladas dos macronutrientes e micronutrientes induzem respectivos sintomas visuais de deficiência associados a menores teores foliares (exceto de Mg e Cu), mas somente as ausências de N, P, Fe, B e Cu afetam significativamente o desenvolvimento das plantas de mogno africano durante o período de avaliação.

As plantas oriundas de mudas maduras e em condições de serem plantadas no local definitivo, do Experimento 2, tem o desenvolvimento afetado apenas pela omissão de N na solução nutritiva, exibindo sintomas visuais de deficiência e menores teores foliares deste elemento. As omissões dos demais nutrientes chegam a induzir respectivos sintomas leves de deficiência e menores teores foliares apenas de Ca e Fe.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. C. Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 671 – 679, 2005.
- BATAGLIA, O. C. In.: RAIJ, B. van, CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo 2 ed. Rev. Atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, (**Boletim Técnico, 100**). 1997.
- BATISTA, M. M. F.; VIÉGAS, I. de J. M.; FRAZÃO, D. A. C.; THOMAZ, M. A. A.; SILVA, R. de C. L. da. Efeito da omissão de macronutrientes no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral em gravioleiras (*Annona muricata*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 315-318, 2003.
- BENASSI, A. C.; FULLIN, E. A. Manejo da cultura do milho irrigado. In.: BENASSI, A. C.; FULLIN, E. A.; SILVA, J. G. F. da; ZANGRANDE, M. B.; FERRÃO, R. G.; MARTINS, D. S.; VENTURA, J. A.; DURAES, F. O. M.; SILVA, J. G.; GOMIDE, R. L.; MAGALHÃES, P. C.; REZENDE, C. I. **Manual técnico para a cultura do milho no estado do Espírito Santo**. (EMCAPA. Documentos, 77) Vitória, 1996. 168 p.
- BÜLL, L. T. Nutrição mineral do milho. In.: BÜLL, L. T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho-Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993. 301 p.
- CAMARGOS, S. L.; MURAOKA, T.; FERNANDES, S. A. P.; SALVADOR, J. O. Diagnose nutricional em mudas de castanheira-do-Brasil. **Revista Agricultura Tropical**, Cuiabá, v. 6, n. 1, p. 81-96, 2002.
- CONCEIÇÃO, H. E. O. da; PINTO, J. E. B. P.; SANTIAGO, E. J. A. de; GONÇALVES, A. A. S. Crescimento e desenvolvimento de *Derris urucu* (Killip et Smith) na ausência de macronutrientes em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, p. 472-479, 2002.
- COSTA, A. **Coletâneas de anatomia da madeira**. 2001, 42 p.
- DIAS, L. E.; ALVAREZ V., V. H.; BRIENZA Jr., S. Formação de mudas de *Acacia mangium*. I. Resposta à calcário e fósforo. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA E SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENG. FLORESTAIS, 6., 1990. Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: 1990. p. 449-453.

FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C. **Mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo.** Belém: Funtec, 1999. 52 p.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77 P.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de Plantas.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186 p.

FARIAS, P. R. S.; MAI, P. S. P.; SILVA, A. G. da; MONTEIRO, B. da S. Ocorrência de *Aleurocanthus woglumi* em área de reflorestamento com mogno africano na Amazônia Oriental. **Revista Ciências Agrárias**, Amazônia, v. 54, n. 1, p. 85-88, 2011.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas.** Viçosa: UFV, 2001. 122 p.

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

GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERISSIMO, A. **Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e perspectiva de manejo.** Belem: Imazon, 2002. 64 p.

HERYATI, Y.; ABDU, A.; MAHAT, M.N.; ABDUL-HAMID, H.; JUSOP, S.; MAJID, N. M.; HERIANSYAH, I.; AJANG, L.; AHMAD, K. Comparing the Fertility of Soils under *Khaya ivorensis*. Plantation and Regenerated Degraded Secondary Forests. **American Journal of Applied Sciences**, New York, v. 1, n. 5, p. 472-480, 2011.

JACOBSON, L. Maintenance of iron supply in nutrients solutions by a single addition of ferric potassium ethylene-diamine-tetra-acetate. **Jornal of Plant Physiology**, Philadelphia, v. 26, n.2, p. 410-411, 1951.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Encarte de Informações Agronômicas nº 118 – International Plant Nutrition Institute**, junho de 2007.

LANGE, A.; MARTINES, A. M.; SILVA, M. A. da; SORREANO, M. C. M.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.1, p.61-67, 2005.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos.** Eschborn: (GTZ) Gmbh. Trad. Guilherme de Almeida Seda e Gilberto Calcagnotto. 1990. 343 p.

LEMMENS, R. H. M. J. 2008. *Khaya ivorensis* A.Chev. [Internet] registro de Protabase.Louppe, D., Oteng-Amoako, A.A.; Brink, M. (Editors). PROTA (Recursos Vegetais da África Tropical / Recursos de l'Afrique vegetales tropicale), Wageningen, Holanda.<[Http://database.prota.org/search.htm](http://database.prota.org/search.htm)>. Acessado em 14 de março de 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998. v. 1, 352 p.

LUGO, A. E. **Point-counterpoints on the conservation of big-leaf mahogany**. USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, Puerto Rico. General Technical Report WO-64, 1999. 21 p.

MAFFEIS, A. R.; SILVEIRA, R. L. V. de A.; BRITO, J. O. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 57, p. 87-98, 2000

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1992. 125 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. Ed., rev. e atual. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; DAMIÃO, C. F.; VOLPE, C. A.; MACHADO JR, G. R.; VELHO, L. M. S.; ROSA, P. R. F.; LAURENTIZ, S. de. Deficiências e excessos minerais no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., cv. Carioca). **Anais da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz**. v. XXXVII, p. 701-718, 1980.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In.: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, 1999. p. 143-168.

MORETTI, B. da S.; FURTINI NETO, A. E.; PINTO, S. I. do C.; FURTINI, I. V.; MAGALHÃES, C. A. de S. Crescimento e nutrição mineral em mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 453-463, 2011.

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

OLIVEIRA, F. de A. **Produção madeireira em regime de curtas rotações na região do rio Barcarena**: Performance Silvicultural e ecológica de espécies de rápido crescimento. Belém. DCF. Convenio FCAP/ALBRAS, 1994. 10p.

PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. de H. **Madeiras nativas**: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília: Fundação Mokiti Okada-MOA. 1997. 543p.

PAULO, E. M.; BATAGLIA, O. C.; KASAI, F. S.; CAVICHIOLI, J. C. Deficiência de boro em mamona. **Bragantia**, Campinas, v.48, n. 2, p. 241-247, 1989.

PEREZ, P. L.; BACHA, C. J. C. Comercialização e comportamento dos preços da madeira serrada nos estados de São Paulo e Pará. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 54, n. 2, p. 103-119, 2007.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya* spp.)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

PINHEIRO, A. L. **Estudos de características dendrológicas, anatômicas e taxonômicas de Meliaceae na microrregião de Viçosa – Minas Gerais**. 1986. 192 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1986.

RAMOS, M. J. M. **Caracterização de sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em abacaxizeiro cultivar imperial**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 2006. 95 f.

RODAN, B. D.; NEWTON, A. C., AND VERISSIMO, A. Mahogany Conservation: Status and policy initiatives. **Environmental conservation**. v. 19, p. 331-338. 1992.

RODRIGUES FILHO, F. S. de O.; FEITOSA, C. T.; GERIN, M. A. N. Omissão de macronutrientes em plantas de amendoim. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 2, 305-312, 1988.

ROSOLEM, C. A.; FERELLI, L. Resposta diferencial de cultivares de algodão ao manganês em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 355-361, 2000.

ROSOLEM, C. A.; BASTOS, G. B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC-22. **Bragantia [online]**. 1997, v.56, n.2, p. 377-387. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87051997000200017>.

SABOGAL, C. **Silvicultura na Amazônia Brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas**. Belém: CIFOR, 2006. 190 p.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. CABRAL, C. P. Influência do boro e do manganês no crescimento e na composição mineral de mudas de goiabeira. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 325-331, 2003.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MURAOKA, T. Sintomas de deficiências de micronutrientes e composição mineral de folhas em mudas de goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1655-1662, 1999.

SALVADOR, J. O.; MURAOKAI, T.; ROSSETTO, R.; RIBEIRO, G. de A. Sintomas de deficiências nutricionais em cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) cultivado em solução nutritiva. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, 407-414, 1994.

SARCINELLI, T. S.; RIBEIRO JR., E. S.; DIAS, L. E.; LYNCH, L. de S. Sintomas de deficiência nutricional em mudas de *Acacia holosericea* em resposta à omissão de macronutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 173-181, 2004.

SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 1, n.3, p.231-33, 1975.

SEPIN - Secretaria do Planejamento e do Desenvolvimento do Estado de Goiás – SEPLAN. Superintendência de Pesquisa e Informação – SEPIN. 2003. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/>>. Acessado em: 15/09/11.

SILVA, S. da C.; SILVA, M. F. das G. F.; EDSON FILHO, R.; SOUZA, A. Q.; MULLER, M. W. **Identificação de Fungos Isolados de *Khaya ivorensis* (Meliaceae)**. Reunião Anual sobre Evolução, Sistemática e Ecologia Micromoleculares Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 2004.

SILVA, J. R. A. da; FALCÃO, N. P. de S. Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 32, n. 4, p. 529-539, 2002.

SILVA, E. de B.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; RESENDE JUNIOR, P. S. de. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.4, p.392-397, 2009.

SILVEIRA, R. L. V. de; 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**, Lavras, v. 8, n.2, p.107-116, 2002

SIMÕES, J. W.; COUTO, H. T. Z. Efeitos da omissão de nutrientes na alimentação mineral do pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia* Bert.). **IPEF**, Piracicaba, n. 7, p. 3-39, 1973.

SNOOK, L. K. Catastrophic disturbance, logging and the ecology of mahogany (*Swietenia macrophylla* King): grounds for listing a major tropical timber species in Cites. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 122, p. 35-46. 1996.

SUDAM - Departamento de Recursos Naturais - Centro de Tecnologia Madeireira. Pesquisa e informações sobre espécies florestais da Amazônia. Belém: SUDAM. 1979. 111p.

TAYLOR, C. J. **Introdução à silvicultura tropical**. USAID, Rio de Janeiro, 1969.

VELOSO, C.A.C.; ARAÚJO, S. M. B.; VIÉGAS, I. J. M.; OLIVEIRA, R. F.; **Amostragem de plantas para análise química**. Belém do Pará: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico 121).

VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; TARIFA, R.; UHL, C. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. **Forest Ecology and Management**, v. 72, n. 1, p. 39-60. 1995.

VERÍSSIMO, A.; GROGAN, J. **Síntese da situação do mogno a nível internacional:** reunião do grupo de trabalho sobre o mogno. Brasília, DF: IMAZON, 1998.

VERZIGNASSI, J. R.; POLTRONIERI, L. S.; BENCHIMOL, R. L. Mancha-alvo em mogno-africano no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 35, n. 1, p. 70-71, 2009.

VIÉGAS, I. de J. M.; THOMAZ, M. A. A.; SILVA, J. F. da; CONCEIÇÃO, H. E. O. da; NAIFF, A. P. M. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 315-319, 2004.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. dos S.; SCARAMUZZA, J. F.; COSTA, A. C.; SOUZA, T. R. Descrição de sintomas visuais em função das deficiências de macronutrientes em mudas de cerejeira (*Amburana acreana*). **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 789 – 796, 2011.

WALLAU, R. L. R. de; BORGES, A. R.; ALMEIDA, D. R. de; CAMARGOS, S. L. Sintomas de deficiências nutricionais em mudas de mogno em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 304-310, 2008.