

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS BOTUCATU

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE ERVA-
CIDREIRA (*Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britt & Wilson) CULTIVADA EM
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

JAMILE KASSEM JANANI

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Horticultura)

BOTUCATU

Fevereiro - 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS BOTUCATU

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE ERVA-
CIDREIRA (*Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britt & Wilson) CULTIVADA EM
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

JAMILE KASSEM JANANI

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Sílvia Fernandes Boaro

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Horticultura)

BOTUCATU

Fevereiro – 2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

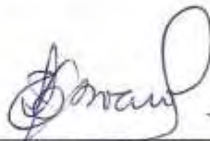
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “ANÁLISE DE CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE ERVA-CIDREIRA
(*Lippia alba* (Mill) N.E.Br. ex Britt & Wilson) CULTIVADA EM SOLUÇÃO
NUTRITIVA”**

ALUNA: JAMILE KASSEM JANANI

ORIENTADORA: PROFª DRª CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFª DRª CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO



PROF. DR. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES



PROFª DRª CONCEIÇÃO APARECIDA COZZA

Data da Realização: 21 de fevereiro de 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

J33a Janani, Jamile Kassem, 1984-
Análise de crescimento e trocas gasosas de erva-cidreira (*Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britt & Wilson) cultivada em solução nutritiva / Jamile Kassem Janani. - Botucatu : [s.n.], 2011

vii, 74 f. : gráfs., tabs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Carmen Sílvia Fernandes Boaro
Inclui bibliografia

1. Produção de matéria seca. 2. Citral. 3. Minerais. 4. Falsa Melissa. I. Boaro, Carmen Sílvia Fernandes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO	1
SUMMARY	3
1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Variáveis estudadas	16
3.1.1 Área foliar	16
3.1.2 Massa seca	16
3.1.3 Índices fisiológicos	16
3.1.3.1 Razão de área foliar (RAF)	16
3.1.3.2 Área foliar específica (AFE)	16
3.1.3.3 Razão de massa foliar (RMF)	16
3.1.3.4 Taxa de crescimento absoluto (TCA)	17
3.1.3.5 Taxa assimilatória líquida (TAL)	17
3.1.3.6 Taxa de crescimento relativo (TCR)	17
3.1.4 Trocas gasosas	17
3.2 Análise estatística dos resultados	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	19
4.1 Área foliar	19
4.2 Massa seca de raiz	22
4.3 Massa seca de caule mais pecíolos	25
4.4 Massa seca de lâminas foliares	27
4.5 Massa seca de inflorescências	30
4.6 Massa seca total	31
4.7 Área foliar específica (AFE)	34
4.8 Razão de área foliar (RAF)	36
4.9 Razão de massa foliar (RMF)	38
4.10 Taxa de crescimento absoluto (TCA)	39
4.11 Taxa assimilatória líquida (TAL)	41
4.12 Taxa de crescimento relativo (TCR)	43
4.13 Assimilação de CO ₂ (<i>A</i>)	46
4.14 Condutância estomática (<i>g_s</i>)	48
4.15 Transpiração (<i>E</i>)	51
4.16 Concentração intercelular de CO ₂ (<i>C_i</i>)	53
4.18 Eficiência do uso da água (<i>EUA</i>)	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
6 CONCLUSÕES	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Paginas
1.	<i>Lippia alba</i> . Detalhe de sua inflorescência	13
2.	Área foliar de <i>Lippia alba</i> (dm ²) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	22
3.	Massa seca de raiz de <i>Lippia alba</i> (g) cultivada em solução nutritiva nº2 Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	24
4.	Massa seca de caule mais pecíolos de <i>Lippia alba</i> (g) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	27
5.	Massa seca de laminas foliares de <i>Lippia alba</i> (g) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	29
6.	Massa seca de inflorescência (g) de <i>Lippia alba</i> cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% em três épocas de colheita.	31
7.	Massa seca total de <i>Lippia alba</i> (g) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	33
8.	Área foliar específica de <i>Lippia alba</i> (dm ² g ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	35
9.	Razão de área foliar de <i>Lippia alba</i> (dm ² g ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% durante parte de seu desenvolvimento.	37
10.	Razão de massa foliar de <i>Lippia alba</i> cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% durante parte de seu desenvolvimento.	39
11.	Taxa de crescimento absoluto de <i>Lippia alba</i> (g dia ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de parte de seu desenvolvimento.	41
12.	Taxa assimilatória líquida de <i>Lippia alba</i> (g dm ⁻² dia ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de parte de seu desenvolvimento.	43
13.	Taxa de crescimento relativo de <i>Lippia alba</i> (g g ⁻¹ dia ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	44
14.	Assimilação de CO ₂ de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações linear e polinomiais.	48
15.	Condutância estomática de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações polinomiais.	51

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Paginas
16.	Transpiração de <i>Lippia alba</i> ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n ^o 2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	53
17.	Concentração intercelular de CO ₂ de <i>Lippia alba</i> (mmol mol^{-1}) cultivada em solução nutritiva n ^o 2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações lineares e polinomiais.	55
18.	Eficiência do uso da água ($\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n ^o 2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações lineares.	57

LISTA DE TABELAS

Tabelas		Páginas
1.	Concentrações de macro e micronutrientes presentes na solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon (1950).	15
2.	Análise de variância e comparação entre médias da área foliar (dm ²) de <i>Lippia alba</i> cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.	21
3.	Análise de variância e comparação entre médias da massa seca de raiz (g) de <i>Lippia alba</i> cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.	23
4.	Análise de variância e comparação entre médias da massa seca de caule mais pecíolos (g) de <i>Lippia alba</i> cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.	26
5.	Análise de variância e comparação entre médias da massa seca de lâminas foliares (g) de <i>Lippia alba</i> cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita. ...	29
6.	Análise de variância e comparação entre médias da massa seca total (g) de <i>Lippia alba</i> cultivada em diferentes diluições da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.	33
7.	Análise de variância e comparação entre médias assimilação de CO ₂ de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	47
8.	Equações de regressões da assimilação de CO ₂ de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	48
9.	Análise de variância e comparação entre médias de condutância estomática de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	50
10.	Equações de regressões da condutância estomática de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	50
11.	Análise de variância e comparação entre médias da transpiração de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	52
12.	Análise de variância e comparação entre médias de concentração intercelular de CO ₂ de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	54
13.	Equações de regressões da concentração intercelular de CO ₂ estomática de <i>Lippia alba</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	55

LISTA DE TABELAS

Tabelas		Páginas
14.	Análise de variância e comparação entre médias da eficiência do uso da água de <i>Lippia alba</i> ($\mu\text{mol CO}_2$ ($\text{mmol H}_2\text{O}$) ⁻¹) cultivada em solução nutritiva n ^o 2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	56
15.	Equações de regressões da eficiência do uso da água de <i>Lippia alba</i> ($\mu\text{mol CO}_2$ ($\text{mmol H}_2\text{O}$) ⁻¹) cultivada em solução nutritiva n ^o 2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.	57

RESUMO

A *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britt & Wilson é uma importante espécie medicinal de uso popular conhecida como erva cidreira brasileira. Trata-se de um arbusto, cujas folhas frescas ou secas e inflorescências são utilizadas na forma de chás, macerados, compressas, pomadas, banhos e extratos alcoólicos. Suas folhas apresentam ação antiespasmódica, moluscicida, fungicida, calmante e digestiva. Considerando, a) a inexistência de estudos sobre a *L. alba* em hidroponia b) a utilização de solução nutritiva para atender as necessidades da espécie, fornecendo nutrientes de maneira balanceada e possibilitando a produção de plantas com adequada qualidade e em menor espaço de tempo, c) a necessidade de produção de matéria prima para uso medicinal popular e farmacêutico, o presente estudo objetivou avaliar o desenvolvimento e as trocas gasosas de *L. alba* submetida à variação das concentrações dos nutrientes a partir da diluição da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950). Assim, as plantas foram cultivadas em quatro tratamentos, constituídos pela variação de nutrientes na solução nutritiva n°2 de Hoagland e Arnon (1950), ou seja, em solução completa (100%) e diluída à 80%, 60% e 40% em relação à completa. As variáveis avaliadas foram área foliar, massas secas dos diferentes órgãos, razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), razão de massa foliar (RMF), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa assimilatória líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intercelular de CO₂ na folha (C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$) e eficiência de uso da água (EUA). Os resultados obtidos permitem concluir que: 1. As concentrações dos nutrientes na solução nutritiva, de maneira geral, foram excessivas para o desenvolvimento e as trocas gasosas da *Lippia alba*; 2. O cultivo da espécie

com solução diluída a 80% resultou em maior massa seca total no menor tempo possível, que, no entanto, não foi máxima entre os vários tratamentos avaliados; 3. As soluções diluídas a 60 e a 40%, que proporcionaram maiores áreas foliares e massas secas dependeram, no entanto, do cultivo das plantas por mais tempo; 4. A diluição da solução nutritiva atrasa o ciclo de desenvolvimento da espécie.

GROWTH ANALYSIS AND GAS EXCHANGE OF “ERVA-CIDREIRA” (*Lippia alba* (Mill.)

N.E.Br. ex Britt & Wilson) CULTIVATED IN NUTRIENT SOLUTION. Botucatu, 2001. 85p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JAMILE KASSEM JANANI

Adviser: CARMEN SÍLVIA FERNANDES BOARO

SUMMARY

Lippia alba (Mill.) N.E.Br. ex Britt & Wilson is a native species popular known as “erva-cidreira brasileira”. It is a shrub whose fresh or dried leaves and flowers are used as teas, macerated, bandages, ointments, baths and alcoholic extracts. Its leaves have an antispasmodic, molluscicidal, fungicidal, sedative and digestive. Considering a) the lack of studies about *L. alba* in hydroponic cultivation b) the use of nutrient solution to meet the needs of the species, providing nutrients in a balanced manner and enabling the production of plants with adequate quality and in shortest time, c) the need for production of raw materials for folk medical and pharmacist, the present study evaluate the development and gas exchange of *L. alba* subjected to varying concentrations of nutrients from the dilution of Hoagland and Arnon (1950). Thus, plants were grown in four treatments, consisting by variation of nutrients in the nutrient solution N^o 2 of Hoagland and Arnon (1950), full solution (100%), diluted to 80%, 60% and 40% compared to the full. Variables evaluated were leaf area, dry masses of different organs, leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), leaf mass ratio (LMR), absolute growth rate (AGR), net assimilation rate (NAR), rate relative growth (RGR), rate of CO₂ assimilation (A, molCO₂ μ m⁻² s⁻¹), stomatal conductance (gs, mol m⁻²s⁻¹), transpiration (E, mmol H₂O m⁻² s⁻¹), intercellular CO₂ concentration in the leaf (C_i, molCO₂ μ mol⁻¹AR) and efficiency of water use (USA). The results showed that: 1. The concentrations of nutrients in the nutrient solution, in general, were excessive for the development and gas exchange of *Lippia alba*, 2. The cultivation of the species with a dilute solution of 80% resulted in higher total dry matter in the shortest time possible, which, however, was highest among the various treatments, 3. Diluted solutions at 60 and 40%,

which provided greater leaf area and dry masses depended, however, the cultivation of plants for longer, 4. The dilution of the nutrient solution delays the development cycle of the species.

Keywords: dry matter production, mineral, citral, Melissa.

1 INTRODUÇÃO

As propriedades terapêuticas das plantas representam um meio de tratamento das doenças, normalmente associado ao conhecimento popular, que vem sendo reconhecido e incorporado ao saber científico (DANTAS; GUIMARÃES, 2007). Esse costume, predominante em países em desenvolvimento, como uma solução alternativa para problemas de saúde, está estabelecido em algumas culturas e tradições, especialmente na Ásia, América Latina e África (SHALE et al., 1999). No Brasil, o Governo Federal aprovou a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, entre as políticas públicas de saúde, meio ambiente, desenvolvimento econômico e social como um dos elementos para melhoria na qualidade de vida da população brasileira (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2007).

A literatura científica disponibiliza inúmeras pesquisas relativas à descrição farmacológica das plantas medicinais ou de seus compostos químicos, entretanto faltam estudos referentes ao cultivo das espécies nativas arbustivas e/ou arbóreas (MING et al., 1998). A *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britt & Wilson é uma importante espécie medicinal de uso popular conhecida como erva cidreira brasileira (MARTINS et al., 1995). Trata-se de um arbusto, cujas folhas frescas ou secas e inflorescências são utilizadas na forma de chás, macerados, compressas, pomadas, banhos e extratos alcoólicos (BUSTAMANTE, 1993; JULIÃO et al., 2001). Suas folhas apresentam ação antiespasmódica, moluscicida, fungicida, calmante e digestiva (PACIORNIK, 1990).

A referida espécie, conforme lista oficial publicada pela CEME (Central de Medicamentos) (MING, 1992), encontra-se incluída em projetos como Farmácias Vivas da Universidade Federal do Ceará (MATTOS, 2000) e Fitoterapia (Serviços de Saúde no Estado do Paraná MING, 1990). Seu uso e eficácia estão cientificamente registrados (ANGELUCCI et al., 1990, DWIVEDI et al., 1990; KISHORE; DUBEY, 1990; KISHORE; MISHRA, 1991). Terblanché e Kornelius (1996) listaram sessenta e seis compostos constituintes do óleo essencial de *L. alba*. Os teores das substâncias presentes no óleo essencial de uma planta são influenciados por fatores ambientais (MAIA, 1998), entre os quais se destaca a nutrição mineral que influencia os metabolismos primários e secundários. Nesse sentido, o cultivo hidropônico pode ser uma alternativa viável por favorecer maior controle dos minerais fornecidos ao vegetal (RUIZ, 1997).

No Brasil, a hidroponia se apresenta como técnica promissora de produção de hortaliças, predominantemente no cultivo da alface, por atender a um mercado exigente em qualidade (FURLANI et al., 1999). Todavia os produtores têm buscado espécies alternativas, como por exemplo, plantas medicinais, condimentares e aromáticas em função da demanda do mercado consumidor dessas plantas pela aquisição de produtos livres de agroquímicos, possíveis de serem obtidos no cultivo hidropônico. Além da questão financeira e do menor uso de agroquímicos, o cultivo hidropônico de espécies medicinais contribui para a redução do extrativismo predatório, promovendo regularidade no fornecimento da matéria prima com assepsia (JESUS FILHO, 2000).

A versatilidade dessa técnica a torna ideal para situações problemáticas como características físico-químicas do solo e presença de insetos (RESH, 1996). Contudo, existem circunstâncias específicas de necessidades nutricionais conforme a espécie alvo, que variam ao longo do ciclo de desenvolvimento, sendo necessário o ajuste da solução nutritiva periodicamente. A primeira solução nutritiva para o cultivo de plantas foi proposta por Hoagland e Arnon na década de 50 (FRANCO; PRADO, 2006). Essa solução, preferida em pesquisa com nutrição mineral de plantas, constitui-se a base para a formulação de inúmeras soluções comerciais existentes nos diferentes países (FURLANI et al., 1999).

O desenvolvimento de vegetais em cultivo hidropônico pode ser avaliado pela análise de crescimento, que descreve as condições morfofisiológicas da planta em diferentes

intervalos de tempo. Segundo Benincasa (2003) essa análise é acessível e precisa para avaliar o crescimento e mensurar a contribuição de processos fisiológicos sobre o comportamento vegetal.

Nesses cultivos, a concentração da solução nutritiva pode interferir com disponibilidade de nutrientes, absorção de água, abertura estomática, eficiência fotossintética e expansão das folhas das espécies a ela submetida (COSTA et al., 2001), interferindo com o crescimento e a partição dos assimilados pelas plantas (BELTRÃO et al., 1997; BOSCO et al., 2009).

Considerando, a) a inexistência de estudos sobre a *L. alba* em hidroponia, b) a utilização de solução nutritiva para atender as necessidades da espécie, fornecendo nutrientes de maneira balanceada e possibilitando a produção de plantas com adequada qualidade e em menor espaço de tempo, c) a necessidade de produção de matéria prima para uso medicinal popular e farmacêutico, o presente estudo objetivou avaliar o desenvolvimento e as trocas gasosas de *L. alba* submetida à variação das concentrações dos nutrientes a partir da diluição da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É de grande importância o estabelecimento de linhas de ação voltadas para o desenvolvimento de pesquisas fitotécnicas em busca de técnicas de manejo ou cultivo das plantas com potencial terapêutico, considerando-se sua utilização pelo homem e o equilíbrio dos ecossistemas (MATTOS, 2000). É fundamental que tais técnicas sejam desenvolvidas respeitando-se as condições edafoclimáticas regionais, uma vez que, a produção de princípios ativos pelas plantas pode ser intensamente afetada pelo ambiente de cultivo (ZOGHBI et al., 1998).

O gênero *Lippia* reúne cerca de 2600 espécies, distribuídas principalmente na América Central, América do Sul, África e regiões quentes da Europa (MOLDENKE, 1973). Neste gênero, a espécie *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. ex Britt & Wilson (Verbenaceae) possui propriedades medicinais comprovadas como analgésica, calmante, sedativa, anti-espasmódica, anti-convulsiva, anti-inflamatória, anti-pirética, anti-microbiana, anti-viral e citostática (GOMES et al., 1993; PASCUAL et al., 2001). A espécie, conhecida popularmente por erva-cidreira, salsa limão, alecrim, camará, melissa, sálvia, cidrão, cidreira, cidró e cidrila (CORRÊA JUNIRO et al., 1994), pode ser confundida com plantas que como ela possuem o princípio ativo citral na composição de seu óleo essencial, como por exemplo, *Cymbopogon citratus* e *Melissa officinalis* (MING, 1992).

Trata-se de um arbusto nativo do Brasil, encontrado em solos arenosos nas margens dos rios, nas áreas de clima tropical, subtropical e temperado (CORRÊA JÚNIOR et al., 1994), que possui entre dois e três metros de altura, caule e ramos primários alongados,

ascendentes, pubescentes, que enraízam em contato com o solo. As folhas possuem de três a cinco centímetros de largura, são ovais ou ovado-oblongas, agudas, serrilhadas, cuneadas na base, pubescentes em ambas as faces, apresentando pecíolos curtos. A inflorescência é capituliforme, com brácteas ovais e pilosas, densamente imbricadas, com corolas violáceas (CORREA, 1969).

Com base em variações qualitativas e quantitativas dos teores de carvona, limoneno, mirceno, neral e geranial, que associam-se a características morfológicas e organolépticas, distinguem-se três quimiotipos de *L. alba* (SANTOS et al., 2004). Os princípios ativos presentes no óleo essencial dessa espécie possuem efeitos farmacológicos comprovados, por exemplo, a redução do tempo de indução e aumento na duração do sono (ANGELUCCI et al., 1990), ação antifúngica (DWIVEDI et al., 1990; KISHORE et al., 1986; KISHORE; DUBEY, 1990; KISHORE; MISHRA, 1991) e repelente de insetos (PRAKASH; RAO, 1986).

Essas substâncias, acima referidas, são sintetizadas a partir do metabolismo secundário, sendo a sua produção e concentração condicionadas por fatores ambientais e fisiológicos durante o período de desenvolvimento vegetativo da planta (ZARONI et al., 2004). É característica do gênero *Lippia* a plasticidade fenotípica e variações morfológicas, anatômicas e fitoquímicas, resultantes de adaptações às condições ambientais (CORRÊA, 1992). A plasticidade fenotípica é representada pela amplitude da variação de expressão de um genótipo em função das mudanças ambientais (BRADSHAW, 1965).

Nesse sentido, os nutrientes fornecidos, pela solução nutritiva, são indispensáveis ao crescimento da planta e devem corresponder às suas necessidades em cada estágio de desenvolvimento, sendo necessária a sua reposição periódica, de acordo com o consumo do vegetal (MALAVOLTA, 1980; SARRUGE, 1975). Esses nutrientes em média, correspondem a 10% de sua matéria seca da planta, sendo o restante proveniente da atividade fotossintética (BENINCASA, 2003). O estudo do crescimento vegetal envolve a avaliação de variáveis que, em conjunto, determinam a produtividade da espécie.

Nos estudos de nutrição mineral de plantas, o solo constitui-se em um meio altamente complexo e interativo para que sejam analisados os efeitos de um dado nutriente. Com a escolha de meios artificiais mais simples, que permitam melhor controle das proporções dos diversos nutrientes, destacam-se as soluções nutritivas, que devem ser arejadas e conter os macro e micronutrientes necessários ao crescimento vegetal. Os primeiros estudos científicos

desenvolvidos com solução nutritiva remontam à segunda metade do século XX (HEWITT, 1966).

Muitas fórmulas de soluções nutritivas têm sido usadas e avaliadas para garantir produtividade. Santos (1998), no entanto, demonstrou que não há grande diferença na produtividade das espécies quando cultivadas na presença das soluções nutritivas comumente utilizadas. Conforme registrado por Furlani et al. (1999) são pequenas as diferenças entre as concentrações de micronutrientes nas diferentes soluções nutritivas. Entretanto, o uso de concentrações salinas elevadas nas soluções nutritivas, em condições de elevadas temperatura, umidade e luminosidade, como as que ocorrem nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, têm provocado distúrbios fisiológicos, levando a murcha excessiva das plantas nas horas mais quentes do dia, com queima das bordas das folhas “tipburn” e perda na produtividade (HUETT, 1994). A preocupação de reduzir a concentração das soluções nutritivas se deve a necessidade de diminuir a concentração de nitrato nos tecidos vegetais, reduzindo o potencial de eutrofização das soluções remanescentes dos cultivos hidropônicos (SIDDIQI et al., 1998). Além disso, é interessante a redução dos custos de produção por meio do aumento da eficiência do uso do nutriente. Trabalhos de Siddiqi et al. (1998) e Chen et al. (1997) mostram ser possível reduzir a concentração da solução nutritiva a níveis tão baixos quanto 10% da força iônica original, comumente usadas em cultivos hidropônicos em sistemas recirculantes de alface e tomate, sem que se incorra em riscos de perda da produtividade.

Em geral, as soluções nutritivas têm como ancestral comum a solução proposta por Hoagland e Arnon em 1938 (HOAGLAND; ARNON, 1950), cujos níveis de macro e micronutrientes muito se assemelham aos atualmente preconizados. A elevada concentração de sais observada na solução de Hoagland e Arnon (1950) se perpetuou e pode ser observada na maioria das soluções em uso atualmente, alcançando níveis de condutividades elétricas (CE) maiores do que $2,0 \text{ dS m}^{-1}$.

Por outro lado, não existe uma solução nutritiva ideal para todas as espécies vegetais e condições de cultivo (TEIXEIRA, 1996), uma vez que a absorção de nutrientes é muito influenciada pela concentração dos nutrientes, pela espécie vegetal, cultivar e ambiente (ADAMS, 1994).

Assim, a hidroponia é uma alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por solução aquosa contendo elementos minerais indispensáveis aos vegetais

(FAQUIM; FURLANI, 1999), sendo em especial utilizada em situações de pequena disponibilidade de terras agricultáveis, uso excessivo do solo, desequilíbrio de microfauna e/ou infestação de patógenos de solo. Além da elevada capacidade de produção, independente de clima ou solo, este sistema oferece produtos de elevada qualidade com redução de agroquímicos (CASTELLANE; ARAÚJO,1995; JUNQUEIRA et al.,1997).

Para aferir o crescimento de um vegetal, diversas análises devem ser consideradas, tais como, a variação ou incremento de matéria seca entre duas amostragens sucessivas, medida pela taxa de crescimento absoluto (TCA) que reflete a velocidade de crescimento da planta. A quantidade de matéria seca existente em relação à verificada na colheita anterior, considerando-se o número de dias, representa o crescimento em sua massa, altura ou área foliar do vegetal ao longo de determinado período é medida pela taxa de crescimento relativo (TCR). A taxa de assimilação líquida (TAL) demonstra a fotossíntese líquida ou matéria seca produzida em gramas por unidade de área foliar e tempo. Para estimar a área foliar útil para a fotossíntese, revelando o quanto de área foliar em dm^2 esta sendo usada para produzir um grama de matéria seca utiliza-se a razão de área foliar (RAF). A área foliar específica (AFE), que reflete o inverso da espessura, relaciona a área foliar com o peso de matéria seca da própria folha, estando diretamente atrelada com a composição interna, por exemplo, número e/ou tamanho das células do mesofilo foliar (BENINCASA, 2003). Essa análise, de acordo com Radford (1967), representa as diferenças no espessamento foliar, permitindo verificar se os fotoassimilados estão acumulando nas folhas ou sendo translocados para outros órgãos. A razão de massa de folha (RMF) relaciona a matéria seca da folha com a matéria seca total da planta e reflete a matéria orgânica translocada da folha para outros órgãos do vegetal.

Nos cultivos hidropônicos, a concentração da solução nutritiva pode interferir com disponibilidade de nutrientes, absorção de água, abertura estomática, eficiência fotossintética e expansão das folhas das espécies a ela submetida (COSTA et al., 2001), interferindo ainda com o crescimento e a partição dos assimilados pelas plantas (BELTRÃO et al., 1997; BOSCO, 2009).

A abertura estomática permite às células fotossintéticas do mesofilo acesso ao CO_2 atmosférico, processo que resulta em perda de vapor d'água da planta para a atmosfera (FARQUHAR; RASCHKE, 1978). Essa troca de gases afeta a fotossíntese em diferentes níveis (COWAN; TROUGHTON, 1971; BURROWS; MILTHORPE, 1976;

RASCHKE, 1979; MACHADO; LAGÔA, 1994). O movimento estomático é regulado para minimizar a perda de água sem limitar de modo intenso o influxo de CO₂ (COWAN; TROUGHTON, 1971), ou seja, tende a equilibrar a relação entre transpiração e assimilação de CO₂ da planta (COWAN, 1982; FARQUHAR; SHARKEY, 1982).

As espécies possuem diferentes recursos para regular as trocas gasosas e diferentes capacidades fotossintéticas (LARCHER, 2006; MACHADO; LAGÔA, 1994). As trocas gasosas alteram-se durante o desenvolvimento do vegetal (LARCHER, 2006). Plantas jovens de *Cupania vernalis* (Camb.) revelaram elevadas taxas de fotossíntese e condutância estomática em folhas a pleno sol (LIMA-JUNIOR et al., 2005). Plantas jovens de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) anularam a fotossíntese quando o potencial hídrico da folha encontrou-se em -2,7 MPa (ROCHA; MORAIS, 1997), demonstrando o grande efeito do estado de hidratação da folha na assimilação do carbono. (COSTA; MARENCO, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período compreendido entre março e novembro de 2010, em casa de vegetação do tipo Paddy-Fan, com temperatura controlada de $27 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de 70%, no Departamento de Horticultura da Faculdade de Ciências Agronômicas e as avaliações nos Laboratórios desse Departamento e dos de Botânica e de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências, da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu, SP, com plantas de *Lippia alba* (Figura 1) da coleção de plantas medicinais, existentes em canteiros do Departamento de Horticultura da Faculdade de Ciências Agronômicas.



Figura 1. *Lippia alba*. Detalhe de sua inflorescência.

O quimiotipo de *Lippia alba* foi determinado por meio da extração de seu óleo essencial por hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger. Para tanto, folhas secas, picadas manualmente e colocadas em balão volumétrico de 2000 ml foram cobertas com água destilada e submetidas a extração durante duas horas. O óleo essencial obtido foi analisado em cromatografo gasoso acoplado a espectrômetro de massa (CG/EM) da marca Shimadzu, modelo QP 5000 (50m x 0,25mm id x 0,25µm de espessura de filme), utilizando-se Helio (He) como gás de arraste e temperaturas programadas de 40°C por 6 min., 190°C por 4°C/min. e 190 – 240°C a 15°C/ min., temperatura de injetar e detectar de 240°C. Os compostos foram identificados por comparação de espectros de massa com banco de dados e literatura (ADAMS, 1995; CASTRO et al., 2002)

Estacas de 10 cm de *L. alba* foram obtidas da porção mediana do caule de plantas matrizes da coleção de Plantas Medicinais da Faculdade de Ciências Agrônômicas. As estacas que tiveram suas folhas retiradas e as bases cortadas em bisel foram colocadas em bandejas de isopor contendo substrato comercial Rendmax e mantidas em câmara de nebulização intermitente por 60 dias para enraizamento. A seguir, tiveram suas raízes lavadas para a completa retirada do substrato e foram transplantadas para vasos de plástico pintados externamente com purpurina prateada, com capacidade para 5,5 L de solução nutritiva, sendo arejados diariamente. As plantas permaneceram em solução diluída a 50% em relação aos respectivos tratamentos definitivos por 10 dias, sendo a seguir transferidas para os tratamentos definitivos.

A solução nutritiva n° 2 de Hoagland e Arnon (1950), cuja composição em macro e micronutrientes encontra-se especificada na Tabela 1, foi modificada, tendo sido diluída para a caracterização dos diferentes tratamentos aos quais as plantas foram submetidas. Nesses tratamentos, o pH da solução foi mantido entre 5,5 e 6,5 e a condutividade elétrica entre 0,9 a 2,0 mS cm⁻¹. Os sinais visuais apresentados pelas plantas foram acompanhados diariamente e a substituição da solução foi realizada a cada 10 dias ou quando seu pH ou condutividade elétrica indicassem tal necessidade. Assim, as plantas foram cultivadas em quatro tratamentos, constituídos pela variação de nutrientes na solução nutritiva n°2 de Hoagland e Arnon (1950), ou seja, solução completa (100%), diluída à 80%, 60% e 40% em relação à completa.

Tabela 1. Concentrações de macro e micronutrientes presentes na solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon (1950).

Macronutrientes (mmol L ⁻¹)						Micronutrientes (µmol L ⁻¹)						
N-NO ₃	N-NH ₄	P	K	Ca	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
14	1	1	5,98	4	1,98	2	46,3	0,31	17,92	9,11	0,1	0,76

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, quatro tratamentos e cinco épocas de colheita, realizadas a intervalos de 22 dias, aos 53, 75, 97, 119 e 141 dias após o transplante (DAT) das mudas para a solução nutritiva, quando as mesmas tinham 60 dias a partir da confecção das estacas.

Em cada colheita, as plantas, separadas em lâminas foliares, caules mais pecíolos e raízes, tiveram a área foliar, em dm², determinada em medidor de área foliar, modelo LI-3100 da Li-Cor. A seguir, as diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel etiquetados e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 40°C, até obtenção de matéria seca constante. Após a secagem, o material foi pesado em balança analítica e os resultados expressos em gramas.

Para se proceder a estimativa dos índices fisiológicos da análise de crescimento, taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa assimilatória líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE), as variáveis, área foliar, matéria seca de lâminas foliares e total das plantas foram ajustadas em relação ao tempo, ou seja, idade das plantas, pelo programa computacional ANACRES, de acordo com as especificações de Portes e Castro Júnior (1991), utilizando-se a equação exponencial quadrática que melhor se ajustou ao conjunto de dados. Esses índices fisiológicos, por serem dados calculados, não obedecem às pressuposições básicas para a análise de variância (BANZATTO; KRONKA, 1989). Portanto, os dados foram apresentados na forma de gráfico, analisando-se o comportamento das curvas.

3.1. Variáveis estudadas

3.1.1. Área foliar

Em cada vaso parcela, a área foliar foi definida como a somatória das áreas de todas as lâminas foliares.

3.1.2. Massa seca

A massa seca foi definida como o seu peso, expresso em gramas para cada órgão em separado, isto é, de raízes, caules mais pecíolos e lâminas foliares. A massa seca total correspondeu à soma das massas de todos os órgãos existentes, em cada colheita.

3.1.3. Índices fisiológicos

3.1.3.1. Razão de área foliar (RAF)

A razão de área foliar ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$) expressa a área foliar útil para fotossíntese (BENINCASA, 2003) e foi obtida a partir dos valores instantâneos de área foliar (AF), área responsável pela interceptação de energia luminosa e CO_2 , e massa seca total (MST), resultado da fotossíntese, segundo a equação:

$$\text{RAF} = \frac{\text{AF}}{\text{MST}}$$

3.1.3.2. Área foliar específica (AFE)

Este índice expresso em $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ reflete o inverso da espessura da folha (BENINCASA, 2003) e foi obtido pela razão entre a área foliar (AF) e a massa seca de folhas (MSF).

$$\text{AFE} = \frac{\text{AF}}{\text{MSF}}$$

3.1.3.3. Razão de massa foliar (RMF)

A razão de massa de folha expressa a matéria seca translocada da folha para outros órgãos do vegetal, por meio da relação entre massa seca da folha e massa seca total da planta (BENINCASA, 2003), como a seguir:

$$\text{RMF} = \frac{\text{MSF}}{\text{MST}}$$

3.1.3.4. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

Taxa de crescimento absoluto (g dia^{-1}) de uma planta é a variação de incremento de massa entre duas amostragens (PORTES e CASTRO JÚNIOR, 1991). Este índice foi calculado pela equação abaixo:

$$\text{TCA} = \frac{d \cdot a \cdot e^{(bt+ct^2)}}{dt}$$

3.1.3.5. Taxa assimilatória líquida (TAL)

A taxa assimilatória líquida ($\text{g dm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) que expressa a taxa de fotossíntese líquida, em termos de massa seca produzida, em gramas, por decímetro quadrado de área foliar, por unidade de tempo (PORTES e CASTRO JÚNIOR, 1991), foi obtida pela equação abaixo:

$$\text{TAL} = \frac{(b + 2ct + 3dt^2) \cdot a \cdot e^{(bt+ct^2+dt^3)}}{a_1 \cdot e^{(b_1+c_1t^2+d_1t^3)}}$$

3.1.3.6. Taxa de crescimento relativo (TCR)

A taxa de crescimento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) de uma planta ou de qualquer órgão da planta é uma função do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas, no caso de massa seca, está relacionado ao peso de massa seca no instante em que se inicia o período de observação (PORTES e CASTRO JÚNIOR, 1991). Este índice foi calculado pela equação abaixo:

$$\text{TCR} = d \ln \frac{a \cdot e^{(bt + ct^2)}}{dt}$$

3.1.4. Trocas gasosas

As medidas de trocas gasosas foram realizadas seguindo as especificações de David (2007), com sistema aberto portátil de fotossíntese e analisador de CO_2 por radiação infra-vermelha (“Infra Red Gas Analyser-IRGA”, Modelo Li-6400, LI-COR, USA).

Dentro da câmara do IRGA, a fonte de luz foi regulada para permanecer em $1600\mu\text{ mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ de fótons, a temperatura foi de $22 \pm 0,9^\circ\text{C}$ e a umidade relativa dentro da câmara entre $65 \pm 5,5\%$ (déficit de pressão de vapor à superfície da folha de $1,1 \pm 0,2\text{ KPa}$).

As medidas, abaixo relacionadas, foram efetuadas em folhas com o limbo completamente expandido do terceiro ou quarto par.

Foram realizadas cinco avaliações aos 53, 75, 97, 119 e 141 dias após o transplante (DAT) determinando-se a taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{molCO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) e a concentração intercelular de CO_2 na folha (C_i , $\mu\text{molCO}_2\text{ mol}^{-1}\text{ar}$), sob condições normais de CO_2 no ar com $387 \pm 3\ \mu\text{mol mol}^{-1}$ e déficit de pressão de vapor (DPV) próximo de $1,2\text{ KPa}$. Calculou-se a relação entre A e E (A/E), ou eficiência de uso da água (EUA) ($\mu\text{molCO}_2\text{ (mmol H}_2\text{O)}^{-1}$), descrita por Berry e Downton (1982), que representa a assimilação de carbono pela folha por unidade de vapor de água perdido pela transpiração.

3.2. Análise estatística dos resultados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. As colheitas foram avaliadas por análise de regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Área foliar

A área foliar das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 2.

As plantas submetidas a solução nutritiva completa (100%) e diluída a 80% apresentaram aumento de área foliar até 119 dias após transplante, com destaque para as cultivadas com solução nutritiva diluída a 80%, mantendo-se constante a seguir ou com discreta diminuição. As plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída em 60 e 40% apresentaram tendência de resposta para as áreas foliares diferente, que aumentaram até 141 dias.

As plantas cultivadas com soluções diluídas a 60 e 40% investiram mais tempo em folhas o que deve ter contribuído para no final das avaliações aumento da massa seca dos diferentes órgãos e total (Figuras 3 a 5 e 7).

Deve ser ressaltado que as plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% apresentaram a maior área foliar até 119 DAT, revelando a maior produção de massa seca dos diferentes órgãos e total nesse período (Figuras 3 a 5 e 7). Nas condições experimentais, essa solução proporcionou maior área foliar e massa seca dos diferentes órgãos e total no menor tempo possível. Cumpre ressaltar que além da utilização da espécie como calmante e digestiva a produção de óleo essencial poderá depender da condição acima referida.

As plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 60 e a 40%, que apresentaram maior área foliar dos 119 aos 141 DAT revelaram na mesma época aumento da massa seca dos diversos órgãos e total. Nas condições experimentais, essas soluções

proporcionaram maiores áreas foliares e massas secas, no entanto, essa condição dependeu do cultivo das plantas por mais tempo.

As folhas são responsáveis pela captação de energia solar e produção de matéria orgânica, por meio da fotossíntese. Conhecendo-se a superfície foliar e a variação da massa da planta, durante certo período de tempo, torna-se possível avaliar a eficiência das folhas no processo de fotossíntese, deduzindo-se sua contribuição para o crescimento da planta (MAGALHÃES, 1986). No presente estudo, as soluções completa (100%) e diluída a 80% foram eficientes no desenvolvimento de folhas de modo crescente, até um ponto de inflexão (119 dias), a partir do qual os compostos orgânicos devem ter sido desviados para crescimento de outra parte da planta, enquanto as plantas nutridas com soluções diluídas a 60 e 40% mantiveram o direcionamento para a expansão foliar durante todo o período de avaliação. Esses resultados concordam com os observados por Stefannini et al. (2002) que estudando o crescimento de *Lippia alba*, também verificaram o aumento constante da área foliar e relataram que essa resposta provavelmente seja devido ao desenvolvimento fisiológico dessa espécie, que apresenta crescimento indeterminado e assim, a planta vegeta e floresce ao mesmo tempo.

Por outro lado, é possível que as diferenças observadas entre as plantas submetidas aos vários tratamentos no presente estudo, tenham ocorrido por se tratar de espécie com rusticidade comprovada e ampla plasticidade fenotípica por sua capacidade de se desenvolver em condições de solo pouco fértil e com escassez de água (YAMAMOTO, 2006).

Tabela 2. Análise de variância e comparação entre médias da área foliar (dm²) de *Lippia alba* cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
1,03	15,70*	2,15*

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Concentração da solução (%)	Colheita (Dias após transplante)				
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)
100	1,5 Ab*	5,2 Aab	4,2 Aab	10,0 Aa	7,9 Bab
80	1,5 Aa	4,7 Aa	9,9 Aa	8,9 Aa	9,4 Ba
60	2,0 Ab	1,7 Ab	7,3 Ab	7,8 Ab	20,5 Aa
40	3,4 Ab	4,9 Ab	5,8 Aab	11,0 Aab	13,6 ABa

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. As letras maiúsculas nas colunas comparam médias dos tratamentos dentro das colheitas e as minúsculas nas linhas comparam médias das épocas em cada tratamento.

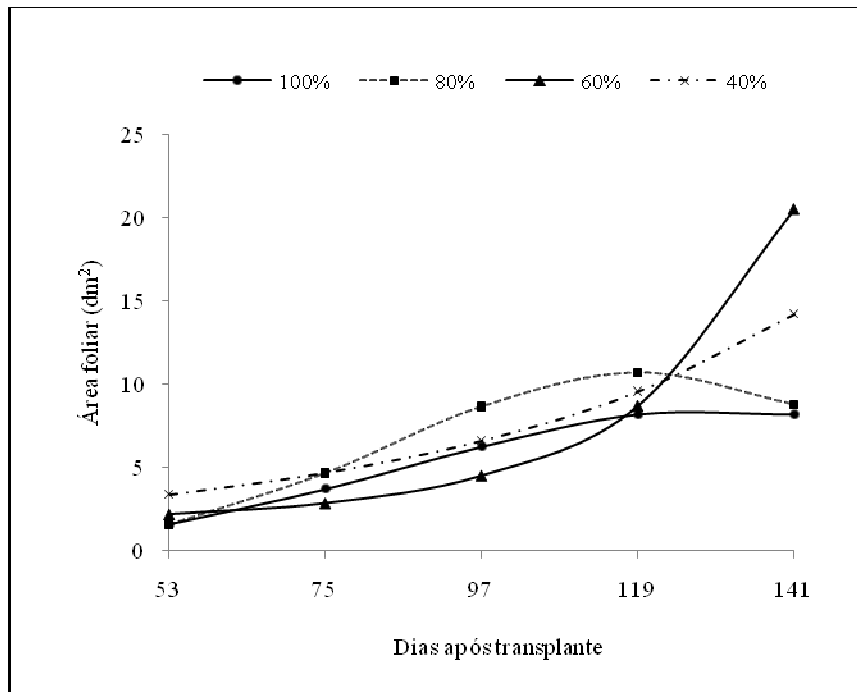


Figura 2. Área foliar de *Lippia alba* (dm²) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

A comparação das médias de área foliar das plantas de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon, com variação da concentração dos nutrientes pode ser observada na Tabela 2. As plantas submetidas à solução diluída a 60% apresentaram a maior área aos 141 dias após o transplante (DAT). Esses resultados estão de acordo com os observados por Yamamoto (2006), que verificou que a espécie desenvolve-se bem em solos com baixas concentrações de nutrientes e por Ehlert (2003), que constatou menor exigência de N, P e K da espécie com o tempo.

4.2. Massa Seca de Raiz

A massa seca de raiz das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na figura 3.

As plantas submetidas a solução nutritiva completa (100%) e diluída a 80% apresentaram aumento de massa seca de raiz até 119 dias após transplante, com destaque para as cultivadas com solução nutritiva diluída a 80%, diminuindo a seguir ou com discreto aumento. As plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída em 60 e 40% apresentaram tendência de resposta para massa seca de raiz diferente, aumentando até 141 dias.

Deve ser registrado, no entanto, que aos 141 DAT as plantas submetidas às soluções mais diluídas atingiram massas secas de raízes bem maiores quando comparadas com aquelas cultivadas com as soluções mais concentradas.

Esses resultados estão de acordo com os observados por Yamamoto (2006), que verificou que a espécie desenvolve-se bem em solos com baixas concentrações de nutrientes e por Ehlert (2003), que constatou menor exigência de N, P e K da espécie com o tempo.

Tabela 3. Análise de variância e comparação entre médias da massa seca de raiz (g) de *Lippia alba* cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)		
Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
0,55	10,35*	1,22

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)						
Concentração da solução (%)	Colheita (Dias após transplante)					Média das Soluções
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)	
100	0,8	2,0	1,5	2,3	2,8	1,9
80	1,0	2,3	3,3	2,3	2,8	2,3
60	1,0	1,3	1,8	2,0	4,3	2,1
40	1,3	1,3	1,5	2,3	4,0	2,1

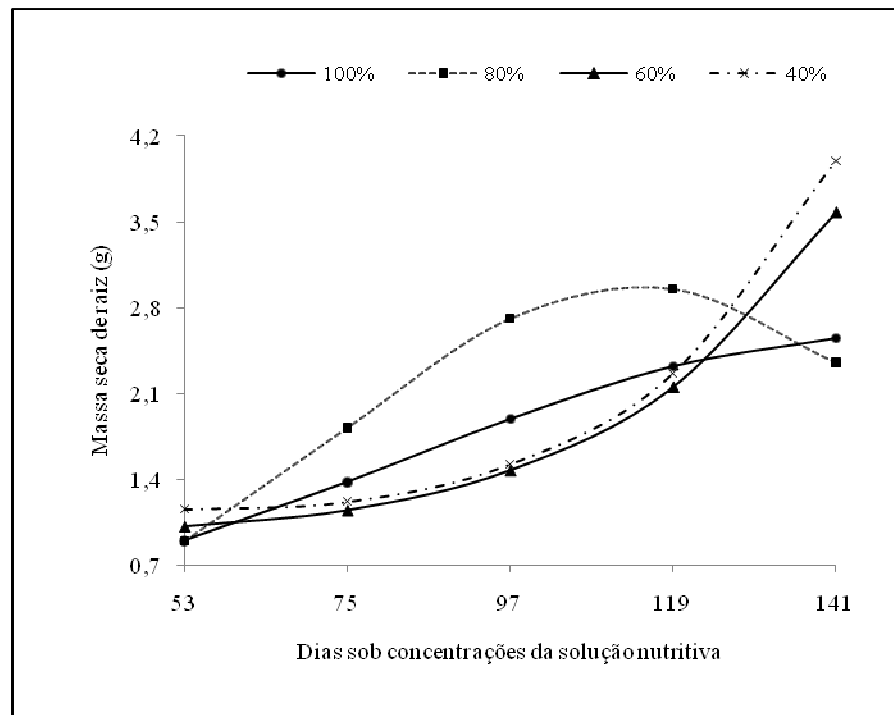


Figura 3. Massa seca de raiz de *Lippia alba* (g) cultivada em solução nutritiva nº2 Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

A comparação das médias de massa seca de raiz das plantas de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon, com variação da concentração dos nutrientes, pode ser observada na Tabela 3, que revela que as plantas submetidas aos diferentes tratamentos não apresentaram diferença significativa de massa seca de raiz.

A ausência de efeito significativo entre os tratamentos com soluções nutritivas contendo diferentes concentrações de nutrientes na massa seca de raízes em plantas de *Lippia alba*, talvez se explique pela presença dos nutrientes, nas quantidades mínimas exigidas, mesmo no tratamento em que a solução está mais diluída. Além disso, a espécie *Lippia alba*, por ser uma planta rústica, que vegeta em solos arenosos, margens de rios, açudes, lagoas e lagos, em climas tropical, subtropical e temperado (STEFANINI et al., 1998), possui ampla plasticidade fenotípica e conseqüente tolerância a variações nas concentrações de nutrientes presentes na solução nutritiva utilizada. Resultados semelhantes de ausência de efeito entre os tratamentos foram descritos por Franco e Prado (2006) ao investigaram a utilização das soluções nutritivas de

Hoagland e Arnon (1950), Sarruge (1975), Castellane e Araújo (1995) e Furlani et al. (1999) no desenvolvimento e estado nutricional de mudas de goiabeira. Considerando, no entanto, a tendência de melhor produção de massa seca de raiz ao final do período avaliado, os resultados são concordantes com os de Yamamoto (2006), que verificaram que a espécie *Lippia alba* desenvolve-se bem em solos ou condições com baixas concentrações de nutrientes.

4.3. Massa seca de caule mais pecíolos

A massa seca de caule mais pecíolos das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 4.

As plantas submetidas ao tratamento com solução nutritiva completa (100%) apresentaram aumento da massa seca de caule mais pecíolos até aos 119 dias após transplante, mantendo-se constante a seguir. As plantas cultivadas com 80% da solução nutritiva aumentaram a massa seca de caule mais pecíolos até 119 dias após transplante, diminuindo a seguir. As plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída em 60 e 40% apresentaram tendência de resposta diferente e aumentaram a massa seca de caule mais pecíolos até 141 dias após transplante.

Deve ser registrado, no entanto, que aos 141 DAT as plantas submetidas às soluções mais diluídas atingiram massas secas de caule mais pecíolos bem maiores quando comparadas com aquelas cultivadas com as soluções mais concentradas.

Esses resultados estão de acordo com os observados por Yamamoto (2006) que verificaram que a espécie *Lippia alba* desenvolve-se bem em solos com baixas concentrações de nutrientes e, nesse caso, mesmo as soluções mais diluídas forneceriam as quantidades de nutrientes necessárias ao desenvolvimento da espécie. As maiores concentrações utilizadas, nesse caso podem ter sido excessivas.

A tendência de aumento da massa seca de caule mais pecíolos ao longo do tempo verificada para as plantas cultivadas com soluções diluídas a 60 e 40% talvez possa ser explicada com base nos estudos de Yamamoto (2006), que demonstraram que a *L. alba* é pouco exigente em nutrientes e desenvolve-se bem em solos sem adição de adubos.

Além disso, o aumento contínuo da massa seca de caule mais pecíolos nas plantas cultivadas com as soluções diluídas a 60 e 40% concorda com os resultados observados por Stefannini et al. (2002) que registrou aumento constante de massa de *Lippia alba* durante o desenvolvimento da espécie, que apresenta crescimento indeterminado e assim, a planta vegeta e floresce ao mesmo tempo.

A comparação das médias de massa seca de caule mais pecíolos das plantas de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon, com variação da concentração dos nutrientes, pode ser observada na Tabela 4. As plantas submetidas a solução diluída a 80% revelou maior massa seca de caule mais pecíolos aos 97 DAT.

Tabela 4. Análise de variância e comparação entre médias da massa seca de caule mais pecíolos (g) de *Lippia alba* cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
0,40	10,45*	1,80

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Concentração da solução (%)	Colheita (Dias após transplante)					Média das Soluções
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)	
100	1,3 Aa*	2,8 Aa	2,5 Ba	3,8 Aa	3,8 Aa	2,8
80	0,8 Ab	2,0 Ab	7,0 Aa	3,5 Aab	4,3 Aab	3,5
60	1,3 Ab	1,3 Ab	3,0 Bb	3,5 Aab	7,5 Aa	3,3
40	1,3 Ab	1,8 Ab	2,5 Bab	4,5 Aab	6,5 Aa	3,3

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. As letras maiúsculas nas colunas comparam médias dos tratamentos dentro das colheitas e as minúsculas nas linhas comparam médias das épocas em cada tratamento.

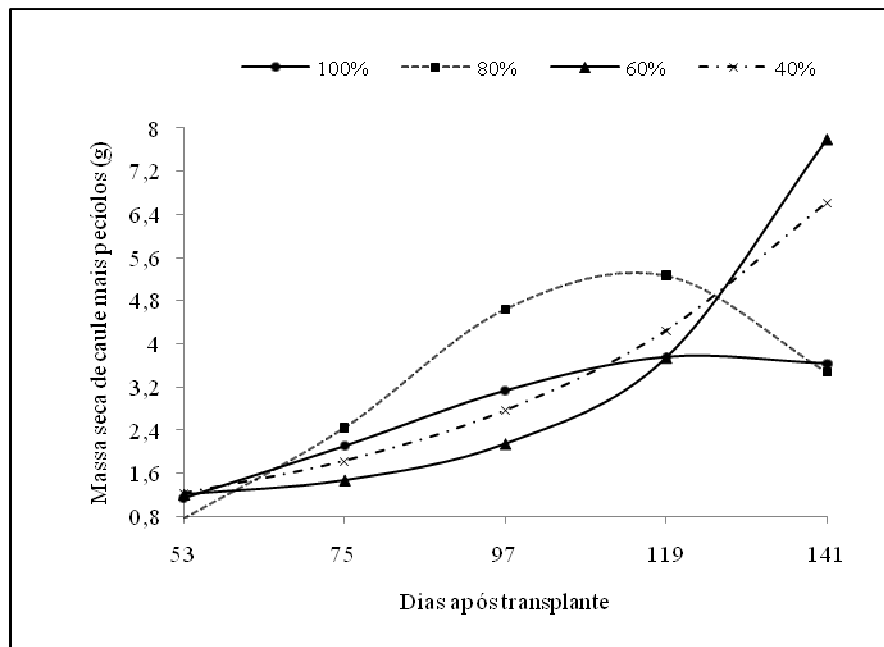


Figura 4. Massa seca de caule mais pecíolos de *Lippia alba* (g) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

4.4. Massa seca de lâminas foliares

A massa seca de lâminas foliares das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 5.

As plantas submetidas a solução nutritiva completa (100%) e diluída a 80% apresentaram aumento de massa seca de lâminas foliares até 119 dias após transplante, com destaque para as cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% , diminuindo a seguir. As plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída em 60 e 40% apresentaram resposta diferente, aumentando a massa seca de lâminas foliares até 141 dias após transplante.

As plantas cultivadas com soluções diluídas a 60 e 40% investiram mais tempo em folhas o que deve ter contribuído para no final das avaliações ter ocorrido aumento da massa seca dos diferentes órgãos e total (Figuras 3, 4 e 7).

Deve ser ressaltado que as plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% apresentaram a maior massa seca de lâminas foliares até 119 DAT, revelando a maior produção de massa seca dos demais órgãos e total nesse período (Figuras 3, 4 e 7). Assim, essa solução proporcionou maior massa seca de lâminas foliares e massa seca dos demais órgãos e total, no menor tempo possível, apesar de que nesse tratamento a produção de massa tenha sido sempre menor do que a verificada para as plantas submetidas às soluções mais diluídas. Cumpre ressaltar que além da utilização da espécie como calmante a produção de óleo essencial poderá depender da condição acima referida.

As plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 60 e a 40%, que apresentaram maior massa seca de lâminas foliares dos 119 aos 141 DAT, revelaram na mesma época aumento da massa seca dos demais órgãos e total. Essas soluções proporcionaram maiores áreas foliares e massas secas, no entanto, essa condição dependeu do cultivo das plantas por mais tempo.

Os resultados do presente estudo concordam com os de Yamamoto (2006), que verificaram que a espécie *Lippia alba* desenvolve-se bem em solos ou condições com baixas concentrações de nutrientes.

Tabela 5. Análise de variância e comparação entre médias da massa seca de lâminas foliares (g) de *Lippia alba* cultivada em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
1,29	14,43*	2,14*

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Concentração da solução (%)	Colheita (Dias após transplante)				
	1ª (53)	2ª (75)	3ª (97)	4ª (119)	5ª (141)
100	3,3 Aa	2,3 Aa	1,8 Aa	1,0 Aa	2,8 Ba
80	5,5 Ab	1,8 Aab	1,5 Aa	1,3 Aab	1,3 Bab
60	1,0 Ab	1,0 Ab	2,8 Ab	1,5 Ab	1,0 Aa
40	1,0 Ab	1,8 Ab	2,3 Aab	1,8 Aab	1,3 ABa

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. As letras maiúsculas nas colunas comparam médias dos tratamentos dentro das colheitas e as minúsculas nas linhas comparam médias das épocas em cada tratamento.

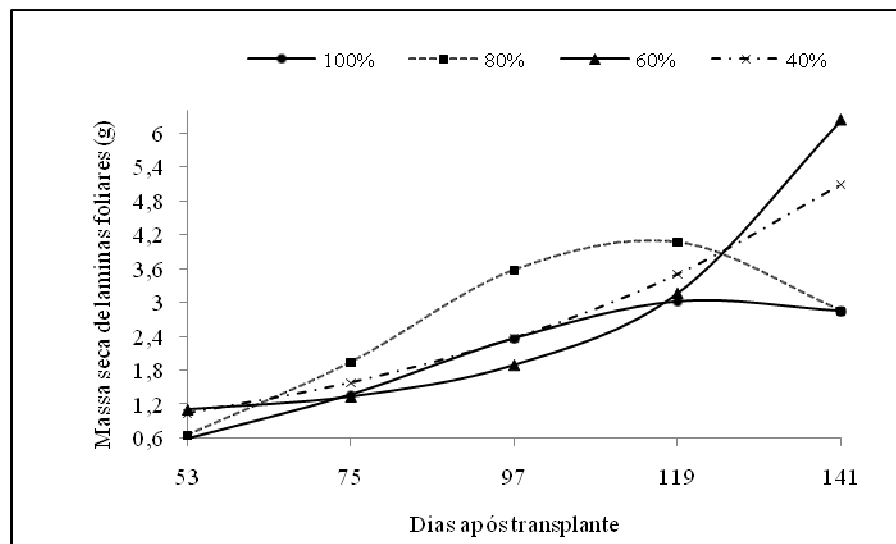


Figura 5. Massa seca de lâminas foliares de *Lippia alba* (g) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

A comparação das médias de massa seca de lâminas foliares de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon, com variação da concentração dos nutrientes, pode ser observada na Tabela 5. As plantas cultivadas com solução diluída a 60% apresentaram maior massa seca de lâminas foliares aos 141 DAT.

Uma vez mais as plantas cultivadas com soluções diluídas a 40 e 60% apresentaram aumento constante da massa seca de lâminas foliares ao longo do período de observação, maior aos 141 DAT para as plantas cultivadas com solução diluída a 60%. Stefanini et al. (2002) e Yamamoto (2006) revelaram que essa espécie apresenta crescimento indeterminado e rusticidade comprovada, desenvolvendo-se bem em solo pouco fértil e com escassez de água. Ehlert (2003) constatou menor exigência de N, P e K da espécie com o tempo.

Apesar do aumento de massa seca dos diferentes órgãos verificado no presente estudo, deve ser registrado que essas massas ficaram bem abaixo daquelas verificadas em estudos com a mesma espécie com idade semelhante e cultivada em solo (STEFANNINI et al., 2002, YAMAMOTO, 2006; EHLERT, 2003). Esses resultados encontrados na literatura, que demonstram a capacidade de produção de massa seca de folhas das plantas de *Lippia alba* superior as obtidas no presente estudo, permite inferir que as concentrações das soluções nele utilizadas foram excessivas para o desenvolvimento da espécie, que apresenta-se pouco exigente à concentração de certos nutrientes (EHLERT, 2003). Santos e Innecco (2004) não observaram variações de produção de massa seca foliar ao variar a adubação das plantas de *L. alba*.

4.5. Massa seca de inflorescência

A massa seca das inflorescências das plantas de *Lippia alba*, cultivadas em diferentes concentrações da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon, podem ser observadas na Figura 6.

As plantas submetidas às soluções diluídas a 60 e 40% apresentaram flores em pequena quantidade a partir dos 97 dias após transplante. Esta condição sugere atraso do desenvolvimento reprodutivo da espécie submetida às soluções diluídas, que pode ser

confirmada pela avaliação da massa seca de flores apresentada na Figura 6. As plantas submetidas a solução nutritiva completa (100%) e diluída a 80% apresentaram matéria seca de flores mais elevada até 97 dias após transplante. Dessa maneira, os resultados revelam que a diluição da solução nutritiva atrasa o ciclo de desenvolvimento da espécie, mesmo quando essa diluição é de 80%, condição em que as inflorescências ocorreram em quantidade maior só aos 97 DAT, diferente do que foi verificado para as plantas submetidas a solução completa (100%), que apresentaram inflorescências já aos 75 dias após transplante. Portanto, as soluções de maiores concentrações anteciparam o florescimento.

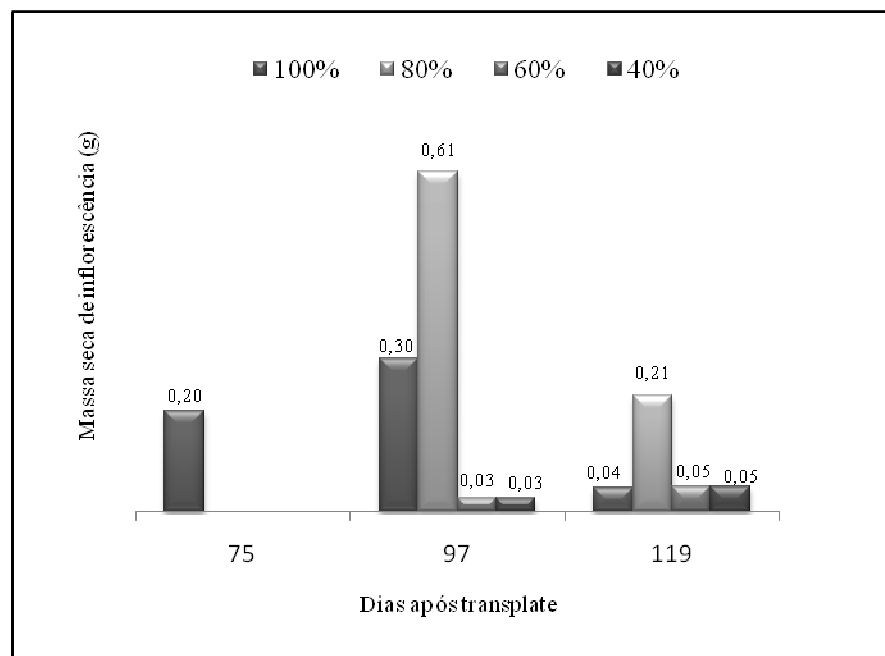


Figura 6. Massa seca de inflorescência (g) de *Lippia alba* cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% em três épocas de colheita.

4.6. Massa seca total

A massa seca total das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na figura 7.

As plantas submetidas a solução nutritiva completa (100%) e diluída a 80% apresentaram aumento de massa seca total até 119 dias após transplante, com destaque para as cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% , mantendo-se constante a seguir ou com

discreta diminuição. As plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída em 60 e 40% apresentaram resposta diferente, aumentando a massa seca total até 141 dias após transplante.

As plantas cultivadas com soluções diluídas a 60 e 40% investiram mais tempo em folhas o que deve ter contribuído para no final das avaliações ter ocorrido aumento da massa seca dos diferentes órgãos e total (Figuras 3 a 5).

Deve ser ressaltado que as plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% apresentaram a maior massa seca total até 119 DAT, revelando a maior produção de massa seca dos diferentes órgãos nesse período (Figuras 3 a 5). Dessa maneira, essa solução proporcionou maior área foliar e massa seca dos diferentes órgãos e total no menor tempo possível, embora essa produção se manifeste abaixo daquela observada com cultivo da espécie em soluções mais diluídas. Esses resultados talvez encontrem apoio nos registros de Cuzzuol et al. (2005) de que embora muitas espécies adaptadas a solos oligotróficos, com carência generalizada de nutrientes, responda a maior concentração de nutrientes no solo, elas possuem um limite de tolerância aos níveis mais elevados. Nesse aspecto, o estudo de Cuzzuol et al. (2005) demonstrou que a solução de Hoagland 200% afetou plantas jovens de *V. herbacea*, antes de atingirem dois meses de idade, tendo provocado efeito tóxico, seguido de morte. Esse efeito também foi observado em plantas jovens de *Qualea grandiflora* por Felipe e Dale (1990) e de *Dalbergia miscolobium* por Sasaki e Felipe (1998), quando as plantas foram cultivadas em solução de Hoagland com 100% de força iônica, entre 60 e 90 dias. Possível efeito tóxico de elementos como o fósforo foi sugerido por Felipe e Dale (1990) para a *Q. grandiflora*, uma vez que a concentração de fósforo na solução de Hoagland igual a 1 mmol L^{-1} é considerada estar bem acima da encontrada em solos agrícolas.

As plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 60 e a 40%, que apresentaram maior massa seca total dos 119 aos 141 DAT revelaram nessa mesma época aumento da massa seca de todos os órgãos. Essas soluções proporcionaram maiores áreas foliares e massas secas, no entanto, essa condição dependeu do cultivo das plantas por mais tempo. Os resultados apresentados pelas plantas cultivadas com as soluções mais diluídas podem ser explicados pelo fato da planta estudada ser rústica e crescer espontaneamente em diferentes ambientes (STEFANNINI, et al., 2002).

Tabela 6. Análise de variância e comparação entre médias da massa seca total (g) de *Lippia alba* cultivada em diferentes diluições da solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
0,63	12,78*	2,00*

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Concentração da solução (%)	Colheita (Dias após transplante)				
	1ª (53)	2ª (75)	3ª (97)	4ª (119)	5ª (141)
100	2,3 Aa*	7,0 Aa	5,8 Ba	3,8 Aa	1,5 Ba
80	2,3 Ab	6,0 Ab	15,0 Aa	3,8 Aab	1,8 Bab
60	3,5 Ab	3,3 Ab	7,3 ABb	3,0 Ab	8,5 Aa
40	3,3 Ab	5,3 Ab	6,3 Bb	10,8 Aab	5,5 ABa

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. As letras maiúsculas nas colunas comparam médias dos tratamentos dentro das colheitas e as minúsculas nas linhas comparam médias das épocas em cada tratamento.

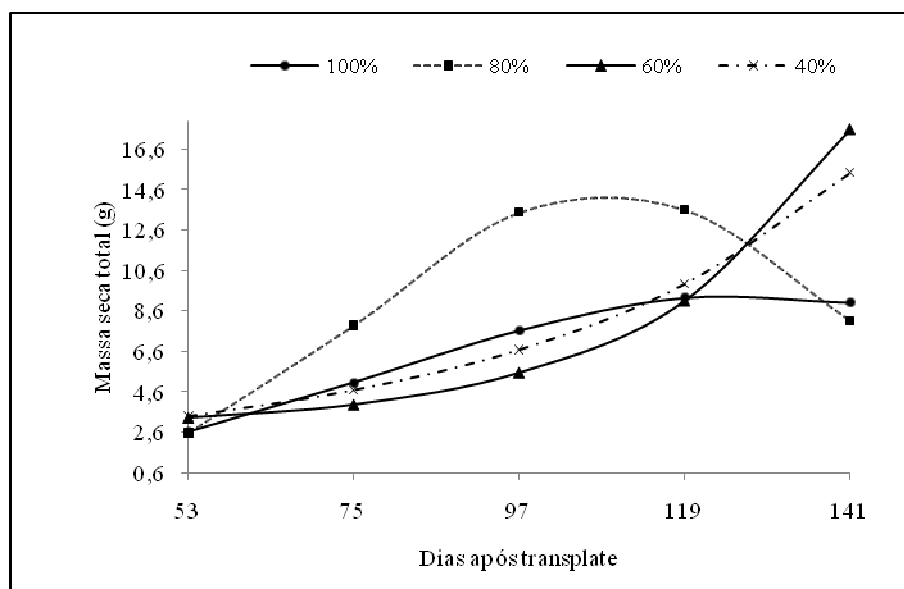


Figura 7. Massa seca total de *Lippia alba* (g) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

A comparação das médias de massa seca de massa seca total de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon, com variação da concentração dos nutrientes, pode ser observada na Tabela 6.

As plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% apresentaram maior massa seca total aos 97 DAT, que não diferiu da massa das plantas cultivadas com solução diluída a 60%, e aquelas nutridas com solução diluída a 60% maior massa aos 141 DAT, que não diferiu da massa das plantas cultivadas com solução diluída a 40%.

4.7. Área foliar específica (AFE)

A área foliar específica das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 8. A área foliar específica mede a relação entre a área foliar e a massa seca da folha, fornecendo informações a respeito do desenvolvimento foliar e direcionamento de fotoassimilados.

As plantas nutridas com solução completa (100%) apresentaram área foliar específica mais constante durante o período de avaliação, pequena variação da AFE ao longo do crescimento vegetativo, de populações vegetais e feijoeiros, também foram observados por Pereira e Machado, 1987, Ascênio e Fargas, 1973 e Boaro et al., 1996.

As plantas submetidas à solução diluída a 40% apresentaram índices elevados no início das observações, com tendência de queda até aos 97 dias, mantendo-se praticamente constante a seguir. A tendência de redução da área foliar específica indica que com o desenvolvimento a folha está se tornando mais espessa, tendência de resposta esperada. Larcher (2006) afirmou que o aumento de biomassa e número de folhas se faz mediante a alocação de fotoassimilados, diminuindo a superfície e aumentando o mesófilo. A AFE elevada nas plantas nutridas com solução diluída a 40% no início das observações, com tendência de queda a seguir concorda com resultados encontrados na literatura de que no início do desenvolvimento esse índice pode ser mais elevado, revelando folhas pouco espessas, com pequena massa seca e área foliar (BENINCASA, 2003).

As plantas submetidas à solução nutritiva diluída a 60% apresentaram aumento constante da área foliar específica, demonstrando que as folhas se tornaram com o tempo menos espessas devido à provável queda e formação de novas folhas (BOARO, 2001). As plantas submetidas à solução nutritiva diluída a 80% apresentaram área foliar específica mais constante até aos 97 dias, aumentando a seguir e embora com valores quase sempre inferiores aos demonstrados pelas plantas nutridas com solução completa (100%) foram as que mais se aproximaram dessas últimas.

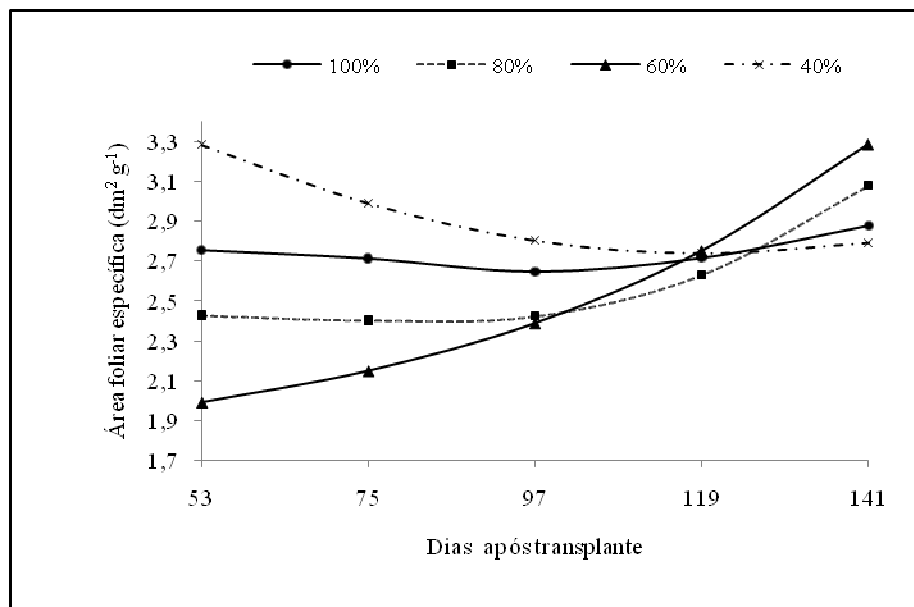


Figura 8. Área foliar específica de *Lippia alba* ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

A AFE das plantas de *L. alba* avaliadas nesse estudo variaram entre 2,4 e 2,8, valores superiores aos descritos por Stefanini (1997), que analisando a AFE de plantas de *Lippia alba* de mesma idade cultivadas em solo observou média desse índice igual a 1,6. A comparação desses resultados permite inferir que as folhas de plantas desenvolvidas em cultivo hidropônico nas concentrações avaliadas apresentaram maior superfície e menor espessamento do que aquelas cultivadas em solo.

A tendência de acréscimo da AFE durante as avaliações verificadas para as plantas submetidas às soluções nutritivas, completa (100%), diluídas a 80 e 60%, indica que no início das observações os fotoassimilados nessas plantas foram utilizados para o espessamento do mesofilo, ao contrário das plantas submetidas à solução nutritiva diluída a 40%, que de início revelaram elevados índices, indicativos de folhas pouco espessas. Portanto, essa solução pode contribuir com o desenvolvimento da espécie em solução nutritiva, em relação aos demais tratamentos avaliados nesse estudo.

4.8. Razão de área foliar (RAF)

A razão de área foliar das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 9.

De maneira geral, as plantas no presente estudo apresentaram resposta diferente do esperado uma vez que, a tendência desse índice é de decréscimo ao longo do desenvolvimento. É possível que essa resposta diferente da RAF esteja vinculada ao fato da espécie investir em folhas durante todo o seu desenvolvimento. A tendência de acréscimo da RAF revelado para as plantas submetidas às soluções nutritivas, completa (100%), diluídas a 80 e 60% sugere que quantidades crescentes de fotoassimilados tenham sido utilizadas para expansão do limbo foliar. Esse resultado pode ser explicado pelo crescimento indeterminado da espécie, que emite folhas durante todo o seu ciclo (STEFANINI,1997) . As plantas nutridas com solução diluída a 40% apresentaram RAF com a variação esperada ao longo do tempo, revelando as maiores médias no início do cultivo, refletindo o potencial de produção de assimilados. Segundo Stefanini et al. (1998) o discreto decréscimo observado na RAF, também no presente estudo, pode ser justificado em função do aumento de tecidos mecânicos na folha e/ou aumento da massa seca total.

As plantas nutridas com solução diluída a 80 e 60% apresentaram curvas semelhantes com índices baixos no início, e elevados no final (Figura 9), indicativos de investimento constante no desenvolvimento das folhas para a captação de energia luminosa (BARBIERI JÚNIOR et al., 2007). Entre essas plantas, as cultivadas com solução nutritiva diluída a 60% apresentaram as maiores razões de área foliar. Urchei et al. (2000), verificaram

aumento acelerado das curvas da razão de área foliar do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) em função do tempo, indicando que nessa fase a maior parte do material fotossintetizado foi convertido em folhas, para maior captação da radiação solar disponível.

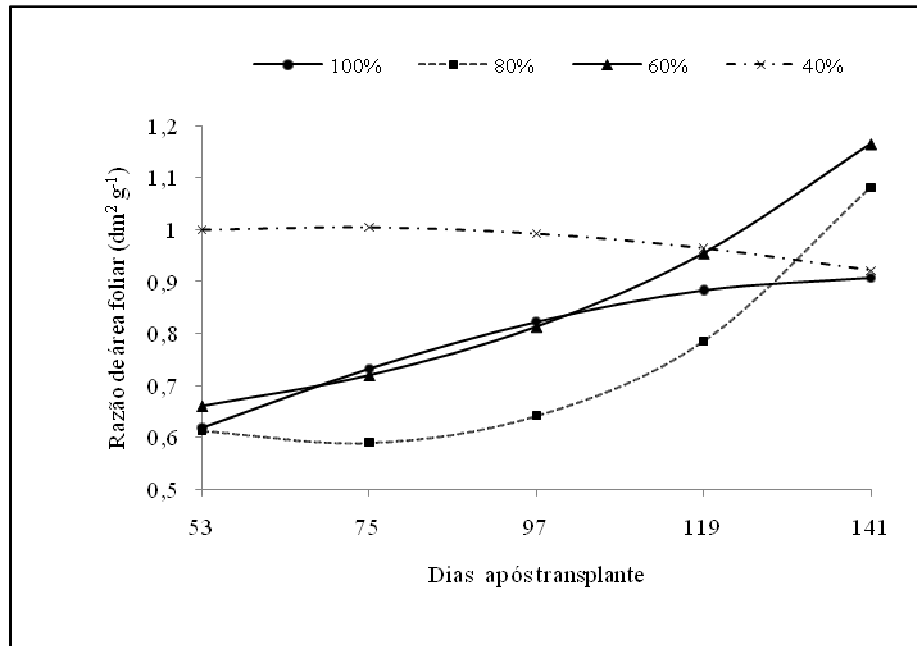


Figura 9. Razão de área foliar de *Lippia alba* ($\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% durante parte de seu desenvolvimento.

A razão de área foliar (RAF) se refere à área foliar responsável pela produção de 1g de matéria seca vegetal. Trata-se da área foliar útil para a fotossíntese, sendo a razão entre a área responsável pela interceptação de energia luminosa e CO_2 e a fitomassa seca total, que é o resultado da fotossíntese (BENINCASA, 2003). Segundo Rodrigues (1982) essa é uma medida relativa do aparelho assimilador. Dessa maneira, enquanto as plantas de *L. alba* submetidas a solução nutritiva, com variação das concentrações de nutrientes, apresentaram RAF com médias entre 0,6 e 0,9, Stefanini (1997) observou para a espécie com a mesma idade e cultivada em solo, RAF igual a 0,4. Esses valores sugerem que quantidades crescentes de fotoassimilados tenham sido utilizadas para expansão do limbo foliar.

4.9. Razão de massa foliar (RMF)

A razão de massa foliar das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 10.

Essa razão é um componente fisiológico e relaciona a massa seca retida nas folhas e a massa seca acumulada na planta toda. (COSTA et al. 2006). Considerando que as folhas são o centro de produção de matéria seca por meio da fotossíntese e, que o restante da planta depende da exportação dessa fitomassa, a razão de massa foliar expressa a fração de massa seca não exportada (BENINCASA, 2003; LIMA et al., 2007).

Como a razão de área foliar (RAF), a razão de massa foliar (RMF) tendeu a aumentar ao longo das colheitas, essa resposta é oposta ao esperado, ou seja, que esse índice diminua ao longo do desenvolvimento. Isso indica, também, que as plantas, independente do tratamento a que foram submetidas, investiram em folhas durante todo o tempo de observação. Esse resultado difere do relatado por Stefanini et al. (1998), que referem que a RMF tendeu a diminuir ao longo das avaliações. Esses autores atribuíram a diminuição ao crescimento da planta, pois, a medida que a planta cresce, menor é a fração de material retido na folha.

No entanto, as plantas submetidas à solução nutritiva diluída a 60 e 80% mantiveram a razão de massa foliar elevada e praticamente constante em todas as colheitas, o que pode indicar maior investimento em folhas e maior produção de massa seca total ao longo do tempo. Costa et al. (2006) observaram aumento na razão de massa foliar de rabanete adubados com húmus e esterco, dos 27 aos 30 dias após a semeadura, indicando retomada de crescimento vegetativo das plantas neste período.

As plantas submetidas à solução nutritiva completa (100%) e diluída a 40% apresentaram aumento da razão de massa foliar até o período compreendido entre 97 e 119 DAT, com discreta diminuição a seguir. A diminuição da razão de massa foliar indica menor quantidade de material retido na folha, ou seja, maior exportação de fotoassimilados (BENINCASA, 2003; LIMA et al., 2007).

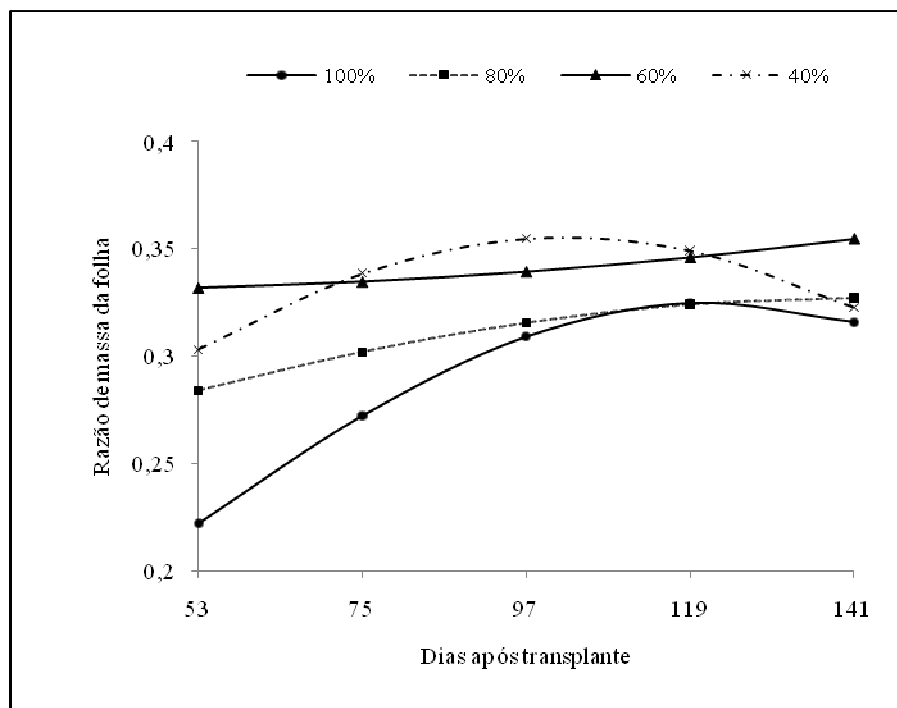


Figura 10. Razão de massa foliar de *Lippia alba* cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% durante parte de seu desenvolvimento.

A solução de Hoagland e Arnon (1950) apresenta concentração de elementos químicos muito superiores às encontradas na solução de um solo fértil (CUZZUOL et al. 2005), o que pode ter provocado alteração do metabolismo das plantas de *L. alba*, como sugerido pelos valores de AFE, RAF e RMF, uma vez que, a espécie estudada apresenta rusticidade comprovada por sua capacidade de se desenvolver em condições de solo pouco fértil e com escassez de água (YAMAMOTO, 2006).

4.10. Taxa de crescimento absoluto (TCA)

A taxa de crescimento absoluto das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 11.

Quando as plantas foram cultivadas com solução completa (100%) e diluída a 80%, as maiores taxas de crescimento absoluto, ou seja, as maiores velocidades médias de crescimento, foram verificadas até os 97 DAT, época em que as plantas submetidas a solução nutritiva diluída a 40 e 60% apresentaram as menores. Dessa maneira, a partir dos 97 DAT as plantas cultivadas com solução nutritiva completa (100%) e diluída a 80% diminuíram a velocidade de crescimento e as demais aumentaram.

Deve ser ressaltado que as plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% apresentaram a maior taxa de crescimento absoluto até os 97 DAT, revelando as maiores massas secas dos diferentes órgãos e total nesse período (Figuras 3 a 5 e 7). Portanto, essa solução proporcionou maior massa seca total no menor tempo possível, que, no entanto, não é máxima entre os vários tratamentos avaliados.

As plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 60 e a 40%, que apresentaram maior velocidade de crescimento dos 119 aos 141 DAT, revelaram na mesma época, aumento da massa seca dos diversos órgãos e total (Figuras 3 a 5 e 7). Essas soluções proporcionaram a obtenção de maiores massas secas, no entanto, essa condição dependerá do cultivo das plantas por mais tempo. Cometti et al. (2008), cultivando alface em hidroponia com solução de Furlani (1997) completa e diluída a 50% constataram precocidade do ciclo da cultura e longevidade suficiente para apresentar TCA crescente até os 52 dias após semeadura. Nesse estudo os autores sugerem que para o aproveitamento econômico da estrutura de produção hidropônica com melhor produção de biomassa de folhas o prolongamento do período de cultivo seria conveniente.

A TCA pode ser usada para se ter idéia da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação (Benincasa, 2003). Gravena et al. (2002) avaliaram *Hyptis suaveolens* cultivadas com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) completa e diluída a 50 e 25% e avaliaram a velocidade média de crescimento pelo cálculo da TCA média, nesse caso igual a $0,96 \text{ g dia}^{-1}$, tendo sido considerados somente os valores positivos, ou seja, valores obtidos antes do início da senescência da planta.

Aguilera et al. (2004), estudando níveis de sombreamento no cultivo de *S. orientalis*, observaram respostas semelhantes às aquelas verificadas no presente estudo para as

plantas cultivadas com solução completa (100%) e diluída a 80% a partir dos 97 dias após o transplante. Os autores relacionaram os valores negativos da curva com a senescência da planta.

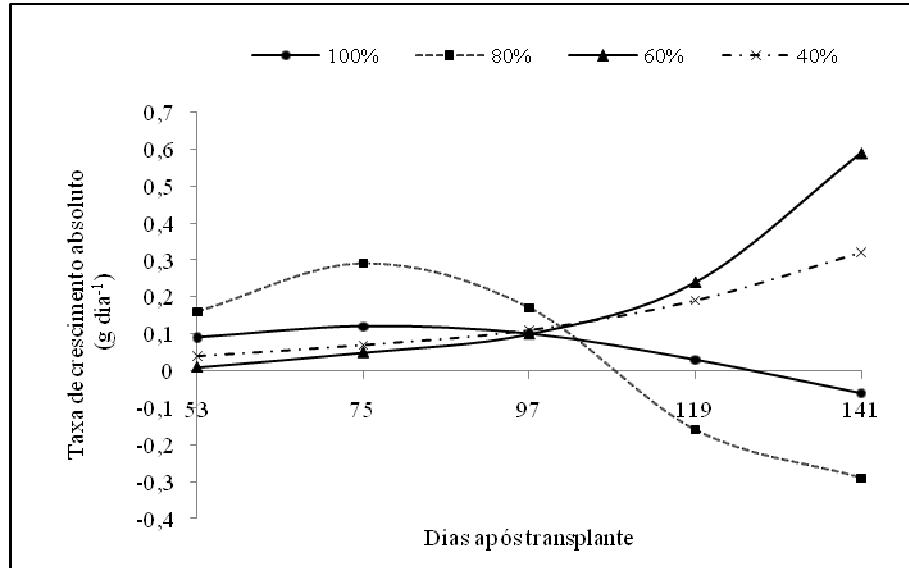


Figura 11. Taxa de crescimento absoluto de *Lippia alba* (g dia⁻¹) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de parte de seu desenvolvimento.

4.11. Taxa assimilatória líquida (TAL)

A taxa assimilatória líquida das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 12.

As plantas cultivadas com a solução completa (100%) e diluída a 80% apresentaram as melhores eficiências fotossintéticas, com destaque para as nutridas com solução diluída a 80%, indicadas pelo declínio das suas curvas de taxa assimilatória líquida. Quanto maior o declínio mais rápido o crescimento. As plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80%, que foram as mais eficientes fotossinteticamente apresentaram maior produção de massa seca até 97 dias após o transplante. As plantas submetidas a solução completa (100%) foram menos eficientes e acumularam menor massa seca total até 119 dias de cultivo. Segundo Milthorpe e Moorby (1974), a TAL comumente diminui com a idade das plantas devido ao

sombreamento das folhas inferiores. Essa afirmativa concorda com os registros de Valmorbidia (2003) que atribuiu a diminuição da TAL de *Mentha piperita* L. cultivada com diferentes níveis de potássio, ao aumento da área foliar, responsável pelo maior sombreamento das folhas inferiores. Scavroni (2003), estudando *M. piperita* L. cultivada em diferentes níveis de biossólido, também observou diminuição da TAL com a idade das plantas.

As plantas cultivadas com soluções diluídas a 60 e 40% apresentaram tendência de resposta da TAL diferente do esperado, ou seja, com discreta elevação ao longo do tempo, indicando que essas plantas investiram mais tempo em folhas o que resultou em aumento da massa seca dos diferentes órgãos e total mais tarde no ciclo. O aumento da TAL nas plantas cultivadas nas soluções com as menores concentrações pode ter sido ocasionado pela produção de folhas mais distribuída no tempo, intercalando a produção de folhas jovens e as velhas senescentes, evitando desse modo o auto-sombreamento e proporcionando assimilação de CO₂ compatível com o conjunto de folhas mais jovens.

A taxa assimilatória líquida relaciona as biomassas secas produzidas por área foliar da planta, por um determinado intervalo de tempo (GRAVENA et al., 2002). Esse índice comumente diminui com a idade das plantas, devido a redução da eficiência fotossintética, que pode ser causada pelo sombreamento mútuo das folhas (WOLEDGE, 1977), envelhecimento dos tecidos foliares (PARSONS et al., 1983) e pela respiração (PEARCE et al., 1965).

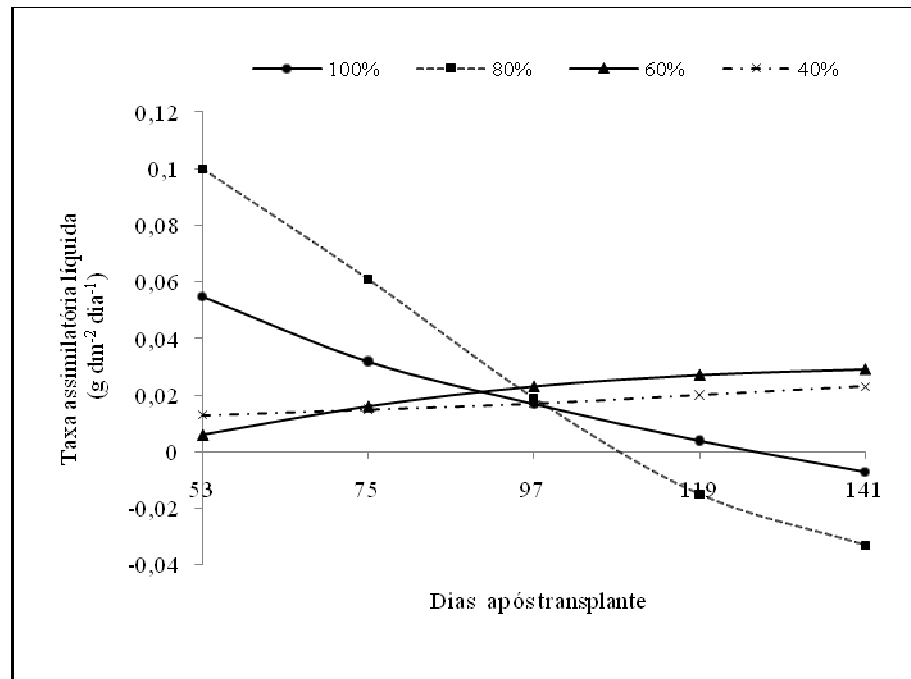


Figura 12. Taxa assimilatória líquida de *Lippia alba* ($\text{g dm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de parte de seu desenvolvimento.

4.12. Taxa de crescimento relativo (TCR)

A taxa de crescimento relativo das plantas de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva nº 2 de Hoagland e Arnon com variação da concentração de nutrientes pode ser observada na Figura 13.

Essa taxa reflete crescimento com base no material vegetal pré-existente (BENINCASA, 2003). A curva da taxa de crescimento relativo foi semelhante a da taxa assimilatória líquida (Figura 12), resultados concordantes com os referidos por Boaro (2001) e Stefanini (1997) ao cultivarem *Phaseolus vulgaris* e *L. alba*, respectivamente.

As plantas cultivadas com a solução completa (100%) e diluída a 80% apresentaram valores elevados no início, aos 53 DAT, com tendência de queda e as nutridas com solução diluída a 80% apresentaram maior inclinação. As plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80%, que foram as mais eficientes fotossinteticamente e revelaram melhor

crescimento em função do material vegetal pré-existente, verificado pela TCR, apresentaram maior produção de massa seca até 97 dias após o transplante. As plantas submetidas a solução completa (100%) foram menos eficientes, apresentaram menor crescimento com base em material pré-existente e acumularam menor massa seca total até 119 dias de cultivo.

As plantas cultivadas com soluções diluídas a 60 e 40% apresentaram resposta da TCR diferente do esperado, ou seja, de discreta elevação ao longo do tempo, indicando que essas plantas investiram mais tempo em folhas o que no final resultou em aumento da massa seca dos diferentes órgãos e total mais tarde no ciclo. O aumento da TAL nas plantas cultivadas nas menores concentrações pode ter sido ocasionado pela produção de folhas mais distribuídas no tempo, intercalando a produção de folhas jovens e as velhas senescentes, evitando desse modo, o auto-sombreamento e proporcionando assimilação de CO_2 e crescimento com base em material pré-existente compatível para o conjunto de folhas mais jovens.

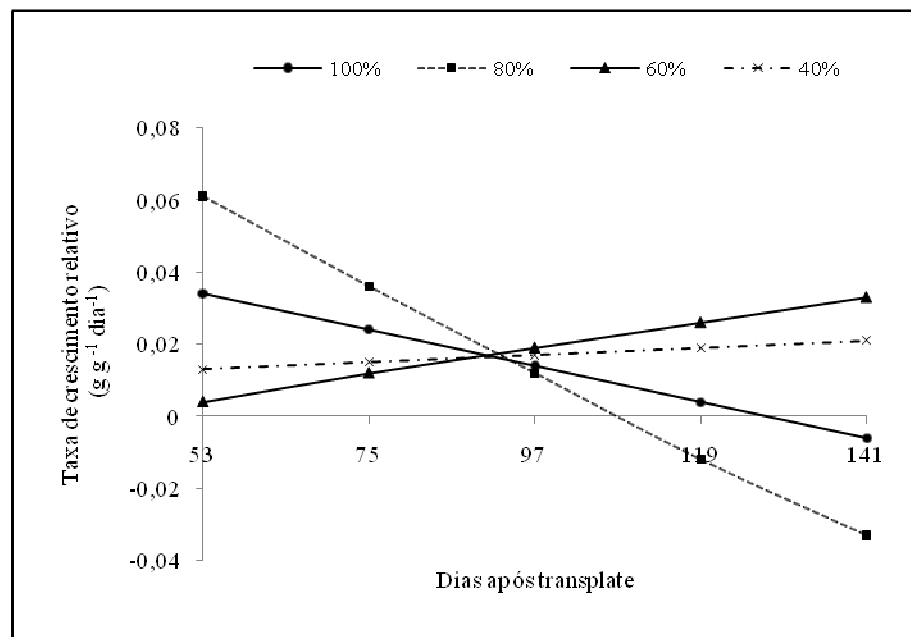


Figura 13. Taxa de crescimento relativo de *Lippia alba* ($\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

A taxa de crescimento relativo (TCR) expressa incremento de biomassa por unidade de biomassa existente, pelo tempo (CÂNDIDO, 2003). É, portanto, a eficiência de produção da planta a partir de uma derivada do crescimento, em determinado período e está relacionada às suas características genéticas (COMETTI, 2008). Segundo Grime e Hunt (1975), valores de TCR inferiores a $0,150 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ são considerados baixos, sendo as taxas mais elevadas, da ordem de $0,300 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ encontradas em herbáceas.

Desse modo, a baixa TCR observada no presente estudo com *L. alba*, variando entre $-0,033$ e $0,006 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ sustenta a hipótese de que, espécies nativas, arbustivas e perenes adaptadas a solos arenosos pobres em nutrientes, possuem baixa taxa de crescimento, mesmo com todos os nutrientes disponíveis (MARSCHNER, 1995; LAMBERS et al., 1998, CUZZUOL et al, 2005).

Essa taxa tende a ser decrescente com o tempo, pois a quantidade de fotoassimilados disponível para o crescimento diminui, em consequência da crescente demanda de fotoassimilados para manutenção das estruturas existentes (BENINCASA, 1988). Os valores negativos, verificados para TCR no presente estudo, nas soluções completa (100%) e diluída a 80%, não podem ser relacionados ao final de ciclo, com produção de sementes e início do período de senescência, como seria o caso de planta cultivada, herbácea e anual. Além disso, não se verificou morte das plantas nesses tratamentos, que devido ao seu hábito de crescimento, manifestavam gemas vegetativas laterais com sinais de novas brotações. Desse modo, possível explicação pode ser atribuída à provável alteração do metabolismo, devido ao estresse causado pelo excesso de sais, resultando em plantas com florescimento mais precoce. Stefanini (1997) também verificou tendência de redução da TCR de *L. alba* com o desenvolvimento da cultura, sem que, no entanto, essa taxa revelasse valores negativos.

A TCR com tendência de aumento apresentada pelas plantas submetidas às soluções diluídas a 40 e 60% sugere produção de novas folhas (BARREIRO, 2006), o que pode explicar o florescimento mais tardio e o prolongamento do período vegetativo. Boaro (2001) sugeriu atraso no desenvolvimento e da fase reprodutiva de plantas de feijão, que apresentaram aumento da TCR.

4.13. Assimilação de CO₂ (A)

A assimilação de CO₂ das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 14 e na Tabela 7.

As plantas submetidas a solução nutritiva completa (100%) apresentaram decréscimo da assimilação de CO₂ durante as avaliações. As plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída a 80 e 40% apresentaram valores crescentes e elevados aos 75 dias após transplante, diminuindo até 119 DAT e com discreta tendência de aumento a seguir.

A assimilação de CO₂ das plantas submetidas a solução diluída a 60%, cujos resultados não apresentaram ajuste significativo (Tabela 8) mostraram tendência de maiores valores aos 75 e 97 DAT, revelando resposta semelhante aos das plantas nutridas com solução nutritiva diluídas a 80 e 40%.

Considerando as respostas das plantas submetidas aos diferentes tratamentos e a constante diminuição da assimilação de CO₂ ao longo do tempo nas plantas cultivadas com solução completa (100%), sugere-se que a concentração de nutrientes nela presentes tenha sido excessiva para o cultivo da *L. alba*. Segundo Larcher (2006), em ambientes não controlados, dificilmente fatores externos favorecerem a ocorrência de picos de fotossíntese e a nutrição mineral desbalanceada é um dos fatores que provoca diminuição no rendimento da produção. O balanço nutricional adequado da planta pode manter sua capacidade fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, provável desequilíbrio nutricional das plantas cultivadas com solução nutritiva contendo diferentes concentrações de nutrientes possa ter sido responsável pelas respostas observadas.

A inexistência de estudos sobre a assimilação de CO₂ em *L. alba*, limita a comparação dos resultados obtidos no presente estudo. No entanto, a comparação dos resultados será realizada com *Stachytarpheta cayennensis*, espécie da família *Verbenaceae*, à qual também pertence a *Lippia alba*. A *Stachytarpheta cayennensis* é uma espécie subarborescente, que ocorre na América tropical e subtropical, sendo muito utilizada na medicina popular brasileira (BLANCO et al., 2005). Dias-filho (1999) observou valor máximo de assimilação de CO₂ em torno de 6,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ quando *Stachytarpheta cayennensis* encontrou-se em condição nutricional adequada para a espécie. No presente estudo, a assimilação de CO₂ das plantas de *Lippia alba* submetidas

aos diferentes tratamentos variou entre 6,0 e 17,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A assimilação mais elevada de CO_2 , até aos 97 dias, para *L. alba* pode ter ocorrido devido a alterações metabólicas provocadas pela concentração de nutrientes na solução nutritiva. Epstein e Bloom (2006) referem que plantas cultivadas submetidas à adubação excessiva não apresentam aumento da capacidade fotossintética. Menores taxas de assimilação de CO_2 com o tempo podem estar relacionadas com a menor necessidade de certos nutrientes, conforme os registros de Ehlert (2003), ao avaliar os teores de N, P e K nas folhas de *Lippia alba* em campo. Por outro lado, Parolin et al, (2001) atribuíram a diminuição da assimilação de CO_2 avaliada em espécies arbóreas à idade da folha. Chavarria et al. (2008) relacionaram a menor assimilação de CO_2 em vinhedos à ausência de cobertura plástica a senescência foliar. Esses trabalhos, incluindo o presente estudo confirmam a observação de Larcher (2006) de que em ambientes não controlados, dificilmente fatores externos favorecerem a ocorrência de máximos de fotossíntese e a nutrição mineral é um dos fatores que pode provocar desequilíbrio.

Tabela 7. Análise de variância e comparação entre médias assimilação de CO_2 de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
0,22	8,36*	1,05

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Solução Nutritiva (%)	Colheita (Dias após transplante)					Média de Solução
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)	
100	12,75	11,00	12,75	8,75	5,75	10,20
80	7,50	17,50	12,50	8,00	7,00	10,50
60	7,75	12,75	12,00	8,00	7,00	9,50
40	10,50	15,50	9,50	6,00	7,75	9,85

Tabela 8. Equações de regressões da assimilação de CO₂ de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Solução nutritiva (%)	Equações	R ² (%)
100	$y = -0,082 x + 18,48$	79,4
80	$y = 0,01 x^3 - 0,04 x^2 + 4,42 x - 120,68$	97,2
40	$y = 0,01 x^3 - 0,04 x^2 + 3,43 x - 84,29$	96,8

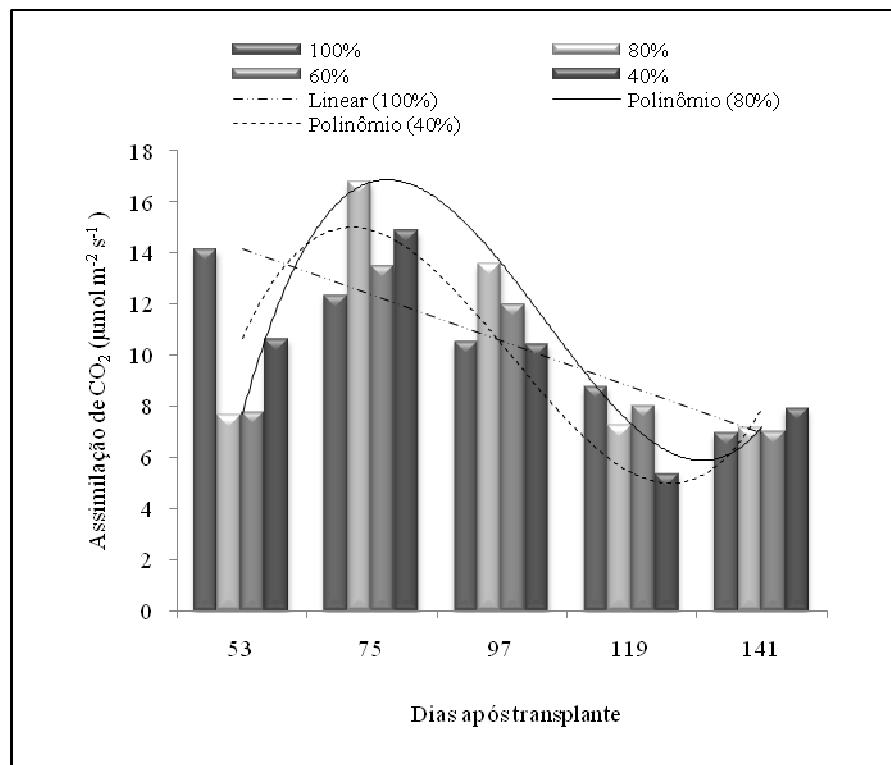


Figura 14. Assimilação de CO₂ de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações linear e polinomiais.

4.14. Condutância estomática (gs)

A condutância estomática das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 15 e na Tabela 9

As plantas nutridas com solução completa (100%) e diluída a 60% apresentaram maiores variações de condutância estomática ao longo do tempo. Entre elas, as submetidas a solução nutritiva completa (100%) apresentaram maior valor de condutância estomática aos 97 DAT. As plantas nutridas com solução nutritiva diluída a 60% apresentaram maiores valores de condutância estomática aos 119 DAT.

A condutância estomática das plantas nutridas com as soluções diluídas a 80 e 40%, cujos resultados não apresentaram ajuste significativo (Tabela 9) mostraram tendência de valores mais constantes ao longo do período de observação, que, no entanto, não limitaram a assimilação de CO₂, em especial até 97 DAT (Figura 14). A partir dessa época a menor assimilação de CO₂ talvez tenha sido devido à limitação no funcionamento do aparelho fotossintético.

O movimento estomático é afetado principalmente pela luminosidade, disponibilidade hídrica e umidade relativa (SCHULZE; HALL, 1982), respondendo ao potencial hídrico da folha (RASCHKE, 1979).

O movimento estomático tende a funcionar para minimizar a perda de água sem limitar a assimilação de CO₂ (COWAN; TROUGHTON, 1971). As mudanças na resistência estomática são importantes para a regulação da perda de água pela planta e para o controle da taxa de absorção de dióxido de carbono necessária à fixação continuada de CO₂ durante a fotossíntese (ZEIGER, 2004). Em situação de baixa disponibilidade de água no solo as plantas reduzem a perda de água ao reduzirem a condutância estomática (COSTA; MARENCO 2007).

No presente estudo as plantas de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva completa (100%) foram as que mais reduziram a condutância estomática no início e no final do período de avaliação, o que indica para os demais tratamentos atendimento hídrico suficiente para as células-guardas, promovendo abertura estomática. Cascardo et al. (1993) constataram condutância estomática máxima da seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell.) quando o teor de água da folha é elevado, ou seja quando as folhas estão hidratadas.

Tabela 9. Análise de variância e comparação entre médias de condutância estomática de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
0,87	4,69*	2,56*

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Solução Nutritiva (%)	Colheita (Dias após transplante)				
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)
100	0,00 Ab*	0,00 Ab	0,25 Bab	0,75 Aa	0,00 Bb
80	0,00 Aa	0,25 Aa	0,25 Ba	0,25 Aa	0,00 Ba
60	0,00 Ab	0,00 Ab	1,00 Aa	0,50 Aab	0,00 Bb
40	0,00 Ab	0,25 Aab	0,25 Bab	0,25 Aab	0,75 Aa

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. As letras maiúsculas nas colunas comparam médias dos tratamentos dentro das colheitas e as minúsculas nas linhas comparam médias das épocas em cada tratamento.

Tabela 10. Equações de regressões da condutância estomática de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Solução nutritiva e diluições (%)	Equações	R ² (%)
100%	$y = -0,01 x^3 + 0,003 x^2 - 0,27x + 7,15$	92,44
60%	$y = -0,01 x^2 + 0,07 x - 3,035$	58,93

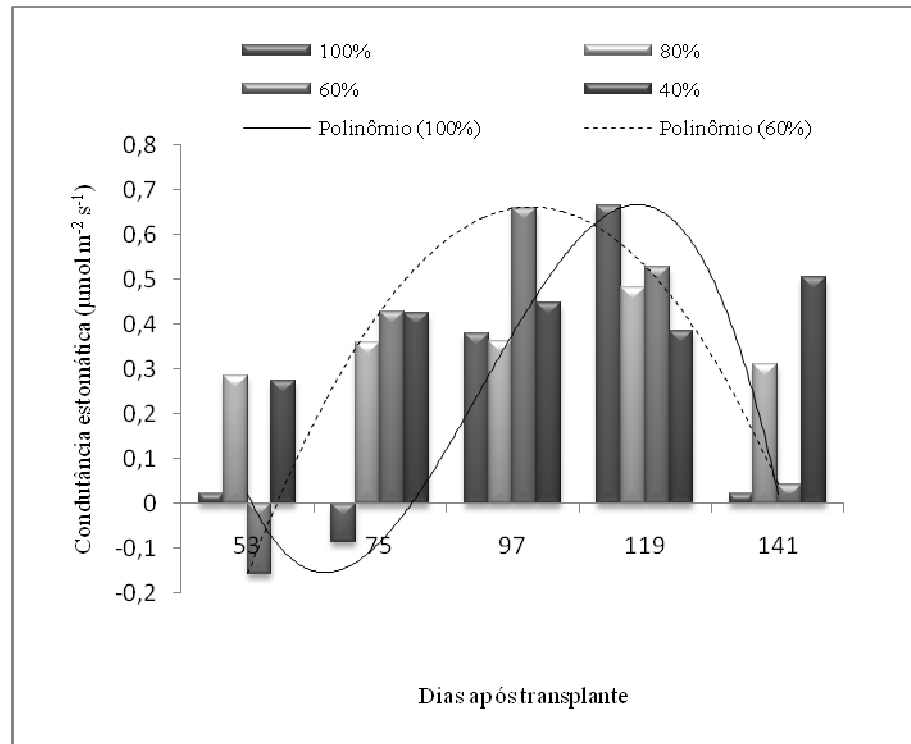


Figura 15. Condutância estomática de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações polinomiais.

4.15. Transpiração (*E*)

A transpiração das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 16. Deve ser registrado que embora esse índice tenha variado ao longo do período de observação nas plantas submetidas aos diferentes tratamentos não foi possível ajuste dos resultados. No entanto, em média, as plantas cultivadas com soluções mais diluídas apresentaram tendência de maior transpiração

O movimento estomático tende a funcionar para minimizar a perda de água sem limitar a assimilação de CO_2 (COWAN; TROUGHTON, 1971). Apesar das plantas de *L. alba* terem sido cultivadas em solução nutritiva onde se espera atendimento hídrico suficiente para as células-guardas com abertura estomática e perda de vapor d'água normais, verificou-se no presente estudo que as plantas cultivadas com soluções mais concentradas apresentaram discreta

tendência de reduzirem a transpiração, o que uma vez mais sugere a interação entre a nutrição e o metabolismo de água.

Tabela 11. Análise de variância e comparação entre médias da transpiração de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
1,26	2,39	2,47*

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Solução Nutritiva (%)	Colheita (Dias após transplante)				
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)
100	3,46 Aa*	3,68 Aa	3,84 Aa	3,91 Aa	3,62 Ba
80	3,35 Aa	4,07 Aa	3,37 Aa	3,59 Aa	3,76 ABa
60	3,46 Aa	3,46 Aa	4,58 Aa	3,88 Aa	3,83 Ba
40	3,29 Ab	4,47 Aab	3,78 Ab	3,29 Ab	5,57 Aa

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade. As letras maiúsculas nas colunas comparam médias dos tratamentos dentro das colheitas e as minúsculas nas linhas comparam médias das épocas em cada tratamento.

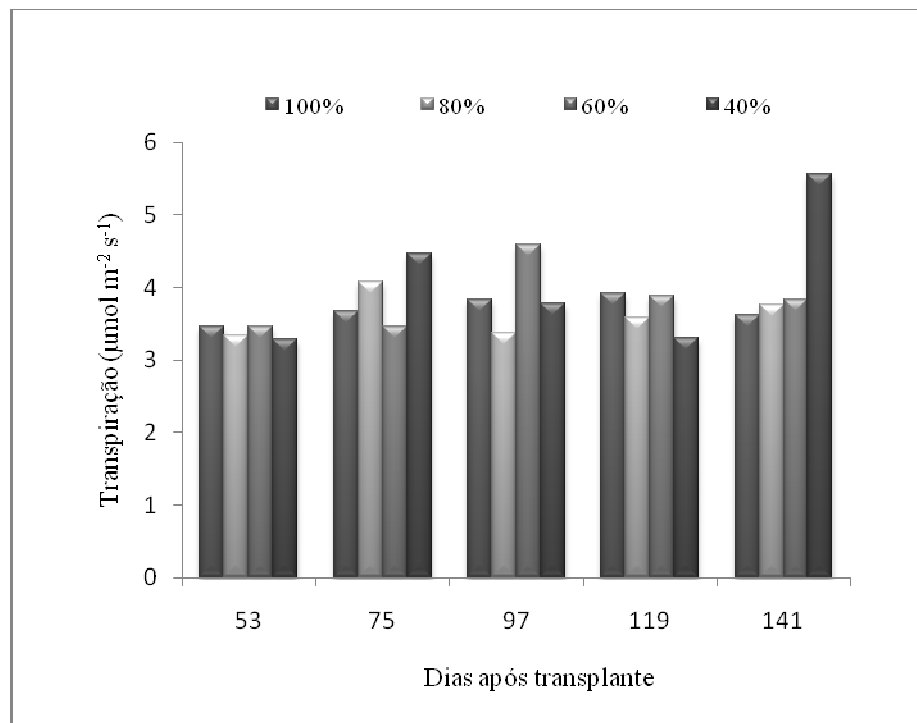


Figura 16. Transpiração de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

4.16. Concentração intercelular de CO_2 (C_i)

A concentração intercelular de CO_2 das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 17 e na Tabela 12

As plantas submetidas as solução nutritiva completa (100%) e diluída a 40% apresentaram valores crescentes de carbono interno durante as avaliações. As plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída a 80 e 60%, de maneira geral, apresentaram valores crescentes e mais elevados aos 53 e 119 dias após transplante.

O acúmulo de CO_2 interno verificado com o tempo em todas as plantas sugere limitação do aparelho fotossintético na assimilação de CO_2 (Figura 17). Talvez esse acúmulo se justifique com base no relato de Parolin et al, (2001), que atribuíram a diminuição da assimilação de CO_2 em espécies arbóreas à idade da folha. Chavarria et al. (2008) relacionaram a menor assimilação de CO_2 em vinhedos a senescência foliar.

Segundo Larcher (2006), apesar de os estômatos reagirem a várias influências, o movimento estomático obedece principalmente ao controle dos circuitos do CO₂ e da H₂O. Quando a pressão parcial de CO₂ nos espaços intercelulares diminui devido ao consumo de CO₂ pelo processo de fotossíntese, os estômatos se abrem.

Restrições estomáticas diminuem a concentração intercelular de CO₂ e caso haja restrições devido ao mesofilo essa concentração aumenta (LONG, 1986). Assim, o acúmulo de CO₂ nos espaços intercelulares, a partir dos noventa e sete dias, sugere alteração bioquímica no aparato fotossintético, com diminuição de eficiência de assimilação de CO₂ (Figura 14). Deve ser registrado ainda que as alterações metabólicas sugeridas possam estar relacionadas às concentrações das soluções nutritivas.

Tabela 12. Análise de variância e comparação entre médias de concentração intercelular de CO₂ de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
1,28	14,77*	1,57

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Solução Nutritiva (%)	Colheita (Dias após transplante)					Média de Solução
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)	
100	297,7	312,0	324,7	350,2	341,0	325,15
80	338,7	294,0	306,0	347,5	336,5	324,55
60	329,7	298,2	337,7	353,2	336,2	331,05
40	318,5	314,7	336,7	358,0	344,0	334,40

Tabela 13. Equações de regressões da concentração intercelular de CO₂ estomática de *Lippia alba* ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Solução nutritiva e diluições	Equações	R ² (%)
100%	$y = 0,58 x + 268,38$	86,3
80%	$y = -0,01 x^3 + 0,26 x^2 - 25,28 x + 1067,65$	98,0
60%	$y = -0,01 x^3 + 0,21 x^2 - 19,16 x + 855,32$	95,3
40%	$y = 0,428x + 292,84$	68,7

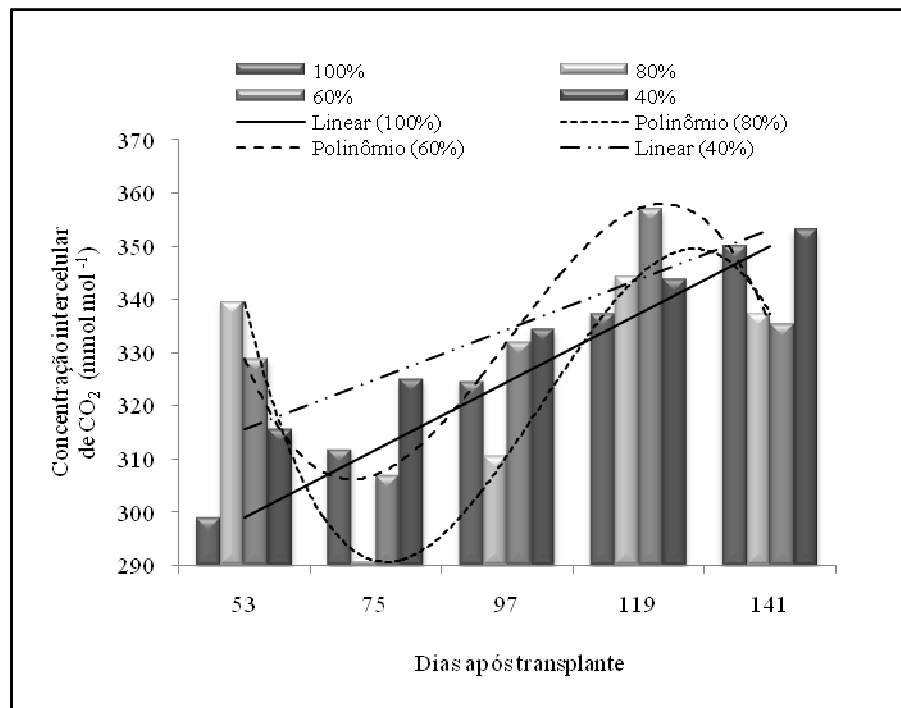


Figura 17. Concentração intercelular de CO₂ de *Lippia alba* (mmol mol^{-1}) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações lineares e polinomiais.

4.17. Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água das plantas submetidas aos diferentes tratamentos pode ser observada na Figura 18 e na Tabela 14.

As plantas submetidas as solução nutritiva completa (100%) e diluída a 40% apresentaram valores decrescentes de eficiência do uso da água durante as avaliações. As

plantas submetidas aos tratamentos com solução nutritiva diluída a 80 e 60% apresentaram valores crescentes e elevados aos 75 dias após transplante, que decresceram a seguir.

Esses resultados estão de acordo com os observados para a assimilação de CO₂, mais elevada no início das observações para as plantas submetidas aos diferentes tratamentos (Figura 14).

A eficiência do uso da água tem sido estudada para medir a capacidade das espécies de se desenvolverem em ambientes com limitação de recursos hídricos (NOGUEIRA et al., 2004; CERNUSAK, 2007). As plantas no presente estudo foram cultivadas em solução nutritiva e os resultados verificados para as trocas gasosas sugerem relação entre a sua nutrição e o metabolismo de água. Neste caso a eficiência do uso da água está diretamente relacionada a assimilação de CO₂, ou seja, a diminuição dessas duas variáveis, a partir dos noventa e sete dias, sugere alterações bioquímicas no aparato fotossintético.

Tabela 14. Análise de variância e comparação entre médias da eficiência do uso da água de *Lippia alba* ($\mu\text{mol CO}_2$ ($\text{mmol H}_2\text{O}$)⁻¹) cultivada em solução nutritiva n^o2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Análise de variância (teste F)

Concentrações da solução (%)	Colheita	Interação Colheita x Concentrações da solução (%)
0,77	12,20*	0,97

* significância ao nível de 5%

Comparação entre médias (teste Tukey)

Solução Nutritiva (%)	Colheita (Dias após transplante)					Média de Solução
	1 ^a (53)	2 ^a (75)	3 ^a (97)	4 ^a (119)	5 ^a (141)	
100	3,5	3,5	3,5	2,3	1,3	2,8
80	2,3	4,3	4,0	2,3	1,8	2,9
60	2,0	4,0	2,8	2,3	1,8	2,5
40	3,0	3,3	2,8	2,0	1,5	2,5

Tabela 19. Equações de regressões da eficiência do uso da água de *Lippia alba* ($\mu\text{mol CO}_2$ ($\text{mmol H}_2\text{O}$) $^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita.

Solução nutritiva (%)	Equações	R ² (%)
100	$y = -0,57x + 4,5$	79,2
40	$y = -0,31x + 55,17$	89,7

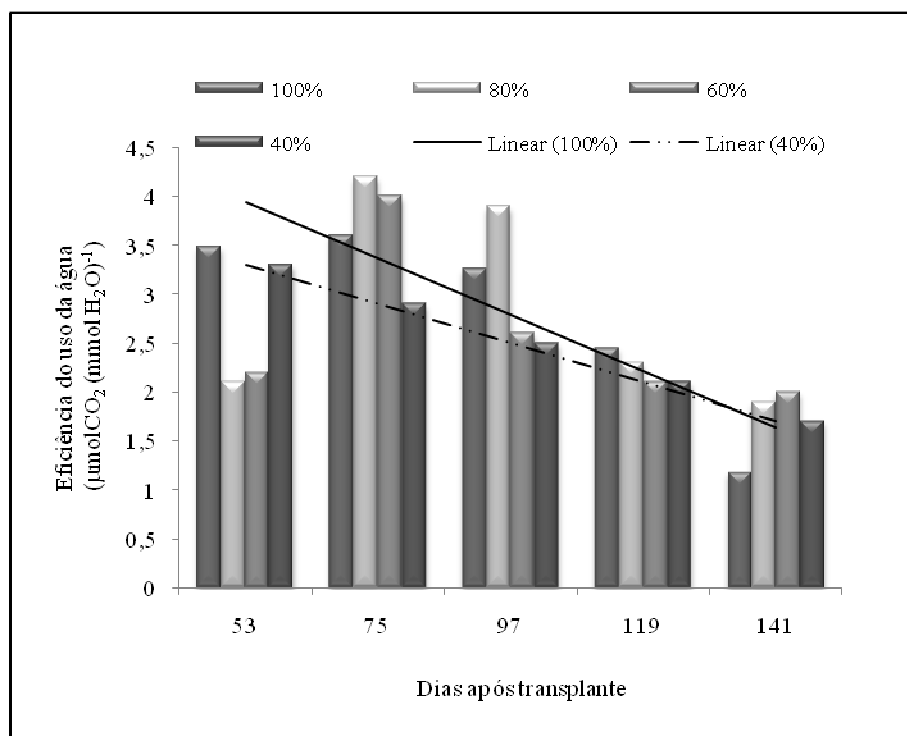


Figura 18. Eficiência do uso da água (μmolCO_2 ($\text{mmol H}_2\text{O}$) $^{-1}$) cultivada em solução nutritiva nº2 de Hoagland e Arnon completa (100%) e diluída a 80, 60 e 40% ao longo de cinco épocas de colheita. Valores ajustados de acordo com as equações lineares.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, as variações das concentrações dos nutrientes na solução de Hoagland e Arnon (1950) induziram alterações no metabolismo primário das plantas de *L. alba*, conforme sugerem os resultados observados.

De maneira geral, as quantidades de nutrientes utilizadas para a nutrição da espécie manifestaram-se excessivas, uma vez que, a *L. alba* apresenta rusticidade comprovada por sua capacidade de se desenvolver em condições de solo pouco fértil e com escassez de água. A solução de Hoagland e Arnon (1950) apresenta concentrações de elementos químicos muito superiores às encontradas na solução de um solo fértil, o que pode ter provocado as alterações do metabolismo das plantas de *L. alba*, identificadas nesse estudo.

No entanto, deve ser ressaltado que as plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 80% apresentaram a maior área foliar até 119 DAT. Essas plantas, que apresentaram as melhores eficiências fotossintéticas e revelaram melhor crescimento em função do material vegetal pré-existente, verificado pela TCR, também revelaram a maior taxa de crescimento absoluto até os 97 DAT, resultando em maiores massas secas dos diferentes órgãos e total nesse período. Portanto, essa solução proporcionou maior massa seca total no menor tempo possível, que, no entanto, não foi máxima entre os vários tratamentos avaliados. Cumpre ressaltar que além da utilização da espécie como calmante e digestiva, na forma de chás, a produção de óleo essencial poderá depender da condição nutricional a que a espécie é submetida e nesse caso, a avaliação do rendimento e composição do óleo essencial das plantas, não realizada no presente

estudo, devido em especial, a pequena quantidade de matéria seca obtida, poderá auxiliar a interpretação dos resultados. As plantas submetidas à solução completa (100%) que foram menos eficientes e apresentaram menor crescimento com base em material pré-existente, acumularam menor massa seca total até 119 dias de cultivo.

Já as plantas cultivadas com solução nutritiva diluída a 60 e a 40%, que apresentaram maior área foliar dos 119 aos 141 DAT revelaram, na mesma época, maior velocidade de crescimento e aumento da massa seca dos diversos órgãos e total. Nas condições experimentais, essas soluções que proporcionaram maiores áreas foliares e massas secas dependeram, no entanto, do cultivo das plantas por mais tempo. Além disso, essas plantas cultivadas com soluções diluídas a 60 e 40% apresentaram resposta da TCR diferente do esperado, ou seja, de discreta elevação ao longo do tempo, indicando que investiram mais tempo em folhas, justificando o aumento da massa seca dos diferentes órgãos e total mais tarde no ciclo. Assim, o aumento da TAL nas plantas cultivadas com as menores concentrações de nutrientes pode ter sido ocasionado pela produção de folhas mais distribuídas no tempo, intercalando a produção de folhas jovens e velhas senescentes, evitando desse modo, o auto-sombreamento e proporcionando assimilação de CO_2 e crescimento com base em material pré-existente compatível para o conjunto de folhas mais jovens. A TCR com tendência de aumento apresentada por essas plantas também sugere produção de novas folhas, o que pode explicar o florescimento mais tardio e o prolongamento do período vegetativo.

Como a razão de área foliar (RAF), a razão de massa foliar (RMF) tendeu a aumentar ao longo das colheitas. Essa resposta é oposta ao esperado, de que esse índice diminua ao longo do desenvolvimento. As plantas, independente do tratamento a que foram submetidas, investiram em folhas durante todo o tempo de observação.

Os resultados obtidos também revelam que a diluição da solução nutritiva atrasa o ciclo de desenvolvimento da espécie, mesmo quando essa diluição é de 80%, condição em que as inflorescências ocorreram em maior número só aos 97 DAT, diferente do que foi verificado para as plantas submetidas à solução completa (100%), que apresentaram inflorescências já aos 75 dias após transplante. Portanto, as soluções de maiores concentrações anteciparam o florescimento. Uma vez mais a avaliação do rendimento e composição do óleo

essencial das plantas, índices muitas vezes associados ao florescimento da espécie, poderá auxiliar a interpretação desses resultados.

Existem muitos estudos na literatura que avaliam a influência do suprimento de água nas trocas gasosas. No entanto, são poucos aqueles que estudam as trocas gasosas quando as espécies são submetidas à variação de sua nutrição mineral.

Considerando as respostas das plantas submetidas aos diferentes tratamentos e a constante diminuição da assimilação de CO₂ ao longo do tempo nas plantas cultivadas com solução completa (100%), sugere-se que a concentração de nutrientes nela presentes tenha sido excessiva para o cultivo da *L. alba*. Uma vez que, em ambientes não controlados, dificilmente fatores externos favorecem a ocorrência de máximos de fotossíntese e a nutrição mineral desbalanceada possa ser um desses fatores, talvez esse nível excessivo de nutrientes tenha provocado diminuição na produção de massa seca, interferindo com sua capacidade fotossintética.

No presente estudo as plantas de *Lippia alba* cultivadas em solução nutritiva completa (100%) foram as que mais reduziram a condutância estomática no início e no final do período de avaliação, o que indica para os demais tratamentos atendimento hídrico suficiente para as células-guardas, promovendo abertura estomática. Apesar das plantas de *L. alba* terem sido cultivadas em solução nutritiva onde se espera atendimento hídrico suficiente para as células-guardas com abertura estomática e perda de vapor d'água normais, verificou-se no presente estudo que as plantas cultivadas com soluções mais concentradas apresentaram discreta tendência de reduzirem a transpiração, o que uma vez mais sugere a interação entre a nutrição e o metabolismo de água.

Assim, o acúmulo de CO₂ nos espaços intercelulares, a partir dos noventa e sete dias, nas plantas submetidas a todos os tratamentos sugere alteração bioquímica no aparato fotossintético, com diminuição de assimilação de CO₂ e da eficiência do uso da água. Deve ser registrado ainda que essas alterações metabólicas podem estar relacionadas às concentrações das soluções nutritivas.

Considerando a utilização da espécie como calmante e digestiva, na forma de chás e que a produção de óleo essencial poderá depender da condição nutricional a que a espécie é submetida sugere-se a avaliação do rendimento e composição desse óleo.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

As concentrações dos nutrientes na solução nutritiva, de maneira geral, foram excessivas para o desenvolvimento e as trocas gasosas da *Lippia alba*, em especial as soluções completa (100%) e diluídas à 80 se comparadas com as diluídas a 60 e 40%.

O cultivo da espécie com solução diluída a 80% resultou em maior massa seca total no menor tempo possível, que, no entanto, não foi máxima entre os vários tratamentos avaliados.

As soluções diluídas a 60 e a 40%, que proporcionaram maiores áreas foliares e massas secas dependeram, no entanto, do cultivo das plantas por mais tempo.

A diluição da solução nutritiva atrasa o florescimento e a produção de massas secas dos diferentes órgão e total da espécie.

Enquanto a solução completa (100%) diminui a assimilação de CO₂ das plantas ao longo do tempo, a sua diluição contribuiu para o aumento dessa variável no início do desenvolvimento das plantas.

7 REFERÊNCIAS

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT a hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 361, p. 254-257, 1994.

ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography mass spectroscopy**. Illinois: Allured, 1995. 469 p.

AGUILERA, D. B.; FERREIRA, F. A.; CECON, P. R. Crescimento de *Siegesbeckia orientalis* sob diferentes condições de luminosidade. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 43-51, 2004.

ANGELUCCI, M. E. M.; CORDAZZO, S. N.; FORTES, V. A. Efeitos farmacológicos do extrato aquoso da *Lippia alba* N.E.Br. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 11., 1990, João Pessoa. **Resumos...** João Pessoa: U.F.P.B., 1990. p. 4.

ASCENIO, C. J.; EDWARDS, D. G. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. “turrialba-4”) cultivado em solução nutritiva. **Revista Turrialba**, Turrialba, v. 23, p. 420, 1973.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247 p.

BARBIERI JUNIOR, D. et al. Análise de crescimento de *Hymenaea courbaril* L. sob efeito da inoculação micorrizica e adubação fosfatada . **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 5, n. 1, p. 1-15, 2007.

BARREIRO, A. P. et al. Análise de crescimento de plantas de manjeriço tratadas com reguladores vegetais. Nota científica. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 563-567, 2006.

BELTRÃO, J.; TRINDADE, D.; CORREIA, P. J. Lettuce yield response to salinity of sprinkle irrigation water. **Acta Horticulturae**, Netherlands, n. 449, p. 623-628, 1997.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

BERRY, J. A.; DOWNTON, W. J. S. Environmental regulation of photosynthesis. In: GOVINDJEE, E. **Photosynthesis: development, carbon metabolism and plant production**. New York: Academic Press, 1982. v. 2, p. 306-308.

BLANCO, L. C. et al. Avaliação da atividade antinociceptiva e antiinflamatória de extratos brutos de *Stachytarpheta cayennensis* e *Pleurothyrium bahiense*. **Revista Universidade Rural**, Série Ciência da Vida, Seropédica, v. 25, n. 1, p. 78-84, jan./jun. 2005.

BOARO, C. S. F. **Desenvolvimento de feijoeiros (*Phaseolus vulgaris*) em solução nutritiva com variação dos níveis de magnésio e da relação entre macronutrientes, durante o ciclo**. 2001. 172 f. Tese (Livre Docência/Fisiologia Vegetal)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BOARO, C. S. F. et al. Avaliação do crescimento do feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L. cv carioca sob diferentes níveis de magnésio. **Biotemas**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 15-28, 1996.

BOSCO, M. R. O. et al. Efeito do NaCl sobre o crescimento, fotossíntese e relações hídricas de plantas de berinjela. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 3, p. 296-302, 2009.

BRADSHAW, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. **Advances in Genetics**, New York, v. 13, p. 115-155, 1965.

BURROWS, F. J.; MILTHORPE, F. L. Stomatal conductance in the control of gas exchange. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed.) **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1976. v. 4, p. 103-152.

BUSTAMANTE, F. M. **Plantas medicinales y aromáticas**: estudio, cultivo y procesado. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. 365 p.

CÂNDIDO, M. J. D. **Morfofisiologia e crescimento do dossel e desempenho animal em *Panicum maximum* cv mombaça sob lotação intermitente com três períodos de descanso**. 2003. 149 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

CASCARDO, J. C. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 31-34, 1993.

CASTELANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo**: hidroponia. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 43 p.

CASTRO, D. M.; MING, L. C.; MARQUES, M. O. M. Composição fotoquímica dos óleos essenciais de folhas de *Lippia alba* (Mill.) E. E. Br. Em diferentes épocas de colheitas e partes do ramo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 4, n. 2, p. 75-79, 2002.

CERNUSAK, L. A.; MARSHALL, J. D.; WINTER, K. Large variation in whole-plant water-use efficiency among tropical tree species. **New Phytologist**, New Jersey, v. 173, p. 294-305, 2007.

CHAVARRIA, G. et al. Relações hídricas e trocas gasosas em vinhedo sob cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1022-1029, dez. 2008.

CHEN, X. G. et al. Growth of a lettuce crop at low ambient nutrient concentrations: a strategy designed to limit the potential for eutrophication. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 20, p. 1403-1417, 1997.

COMETTI, N. N. et al. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, p. 252-257, 2008.

CORREIA, C. B. V. Contribuição ao estudo de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. ex Britt. & Wilson - erva cidreira. **Revista Brasileira de Farmácia**, Rio de Janeiro, v. 73, n. 3, p. 57-64, 1992.

CORREA, M. P. **Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1969. v. 4.

CORRÊA JUNIOR, C.; MING, L. C.; SCHEFFER, M. C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 162 p.

COSTA, C. C. et al. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, p. 118-122, 2006.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

COSTA, P. C. et al. Condutividade elétrica da solução nutritiva de alface em hidropinia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 595-597, 2001.

COWAN, I. R. Regulation of water use in relation to carbon gain in higher plants. In: LANGE, O. L. et al. **Physiological plant ecology II**. Water relations and carbon assimilation. Berlin: Springer-Verlag, 1982. v. 12B, p. 589-613.

COWAN, I. R.; TROUGHTON, J. H. The relative role of stomata in transpiration and assimilation. **Planta**, Berlin, v. 97, n. 4, p. 325-336, 1971.

CUZZUOL, G. R. F. et al. Soluções nutritivas para cultivo e produção de frutanos em plantas de *Vernonia herbacea*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 9, p. 911-917, set. 2005.

DANTAS, I. C.; GUIMARÃES, F. R. Plantas medicinais comercializadas no município de Campina Grande, PB. **Biofar: Revista de Biologia e Farmácia**, v. 1, n. 1. p. 1-13, 2007.

DAVID, E. F. S. **Desenvolvimento, trocas gasosas, rendimento e composição de óleo essencial de *mentha piperita* L cultivada em solução nutritiva com variação dos níveis de N, P, K e Mg**. 2007. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

DIAS-FILHO, M. B. Physiological responses of two tropical weeds to shade. Ii. Leaf gas exchange and nitrogen content. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 6, p. 953-961, jun. 1999.

DWIVEDI, S. K.; DUBEY, N. K.; KISHORE, N. Fungitoxicity of some essential oils against *Macrophomina phaseolina*. **Indian Perfumer**, New Delhi, v. 34, n. 1, p. 20-21, 1990.

EHLERT, P. A. D. **Épocas de plantio, idades e horários de colheita na produção e qualidade do óleo essencial de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br., quimiotipo limoneno-carvona**. 2003.125 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. Nitrogênio e enxofre: uma história de dois nutrientes. In:_____. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. p. 169-201.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 99-104, set./dez. 1999.

FARQUHAR, G. D.; RASCHKE, K. On the resistance to transpiration of the sites of evaporation within the leaf. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 60, n. 6, p. 1000-1005, 1978.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomata conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, Boca Raton, v. 33, p. 317-345, 1982.

FELIPPE, G. M.; DALE, J. E. The effects of phosphate supply on growth of plants from the Brazilian Cerrado: experiments with seedlings of the annual weed, *Bidens gardneri* Baker (Compositae) and the tree, *Qualea grandiflora* (Mart.) (Vochysiaceae). **Oecologia**, Berlin, v. 82, p. 81-86, 1990.

FRANCO, C. F.; PRADO, R. M. Uso de soluções nutritivas no desenvolvimento e no estado nutricional de mudas de goiabeira: macronutrientes. **Acta Scientiarum Agronomia**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 199-205, abr./jun. 2006.

FURLANI, P. R. et al. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto agrônomico, 1999. 52 p. (Boletim técnico, 180).

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia-NFT**. Campinas: Instituto Agrônomico, 1997. 30 p. (Boletim técnico, 168).

GOMES, E. C. et al. Constituintes de óleo essencial de *Lippia alba* (Mill) N.E. Br. (Verbenaceae). **Revista Brasileira de Farmácia**, Curitiba, v. 74, n. 2, p. 29-32, 1993.

GRAVENA, R. et al. Análise do crescimento de *Hyptis suaveolens*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 189-196, 2002.

GRIME, J. P.; HUNT, R. Relative growth-rate: its range and adaptive significance in a local flora. **Journal of Ecology**, London, v. 63, p. 393-422, 1975.

HEWITT, E. J. **Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition**. Farham royal: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1966. 547 p.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. L. **The water culture methods for growing plants without soil**. Berkeley: University of California, 1950. 32 p. (Circular 347).

HUETT, D. O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 45, p. 251-267, 1994.

JESUS FILHO, J. D. **Hidroponia de plantas aromáticas, condimentares e medicinais**. São Paulo: Vídeo Par, 2000. 27 p. (Manual técnico).

JULIÃO, L. S. et al. Cromatografia em camada fina de extratos de três quimiótipos de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. (Erva cidreira). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 13, p. 36-38, 2001.

JUNQUEIRA, A. M. R.; LIMA, J. A.; PEIXOTO, J. R. **Hidroponia: cultivo sem solo**. Brasília: DF: UNB, Curso de Extensão da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 1997. 31 p.

KISHORE, N., DUBEY, N. K. Fungitoxicity of essencial oil of *Amomum subulatum* against *Aspergillus flavus*. **Economic Botany**, New York, v. 44, n. 4, p. 530-533, 1990.

KISHORE, N. et al. Volatile fungitoxicity in some higher plants as evaluated against *Rhizoctonia solani* and some other fungi. **Indian Phytopathology**, New Delhi, v. 36, n. 4, p. 724-726, 1986.

KISHORE, N., MISHRA, A. K. Effect of essential oils on sclerotial germination of *Rhizoctonia solani*. **National Academy Science Letters**. New Delhi, v. 14, n. 6, p. 239-240, 1991.

LAMBERS, J.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998. 540 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2006. 550 p.

LIMA, J. F.; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1358-1363, set./out. 2007.

LIMA-JUNIOR, E. C. et al. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1092-1097, 2005.

LONG, S. P. Instrumentation for the measurement of CO₂ assimilation by crop leaves. In: GENSLE, W. G. (Ed.). **Advanced agricultural instrumentation**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986. p. 39-91.

MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. A. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 141-149, 1994.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1986. v. 1, p. 331-350.

MAIA, N. B. Efeito da nutrição mineral na qualidade do óleo essencial da menta (*Mentha arvensis* L.) cultivada em solução nutritiva. In: MING, L. C. et al. (Coord). **Plantas medicinais, aromáticas e condimentares, avanços na pesquisa agronômica**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1998. v. 2, p. 81-95.

MALAVOLTA, G. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. Orlando: Academic Press, 1995. 649 p.

MARTINS, E. R. et al. **Plantas medicinais**. Viçosa: UFV, 1995. 220 p.

MATTOS, S. H. Perspectivas do cultivo de plantas medicinais para a fitoterapia no Estado do Ceará. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.18, p.45-46, 2000. Suplemento.

MILTHORPE, F. L.; MOORBY, J. Some aspects of overall growth and its modification. In: _____. **An introduction to crop physiology**. London: Cambridge University Press, 1974. 152 p.

MING, L. C. Estaquia da falsa erva cidreira – *Lippia lba* N. E. Brown (Verbenaceae). In: SIMPÓSIO E PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 11., 1990, João Pessoa. **Resumos...** João Pessoa: SBPM, 1990. p. 480.

MING, L. C. **Influência de diferentes níveis de adubação orgânica na produção de biomassa e teor de óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. - Verbenaceae**. 1992. 206 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa nacional de plantas medicinais e fitoterápicos**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2007. 77 p.

MOLDENKE, H. N. Flora of *Parana Verbenaceae*. **Acta Missouri Botanic Garden**, Sant Louis, n. 60, p. 41-148, 1973.

NOGRUEIRA, A. et al. Photosynthesis and water use efficiency in twenty tropical tree species of differing succession status in a Brazilian reforestation. **Photosynthetica**, Olomouc, v. 24, n. 3, p. 351-356, 2004.

PACIORNIK, E. F. A. **Planta nossa de cada dia**. Plantas medicinais: descrição e uso. 2. ed. Curitiba: Copygraf, 1990. 92 p.

PAROLIN, P.; JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. Gas exchange of six tree species from Central Amazonian floodplains. **Tropical Ecology**, Cambridge, n. 42, v. 1, p. 15-24, 2001.

PARSONS, A. J. et al. The physiology of grass production under grazing: 1 - Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously grazed sward. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 20, n. 1, p. 117-126, 1983.

PASCUAL, M. E. et al. *Lippia*: traditional uses, chemistry and pharmacology: a review. **Journal of Ethnopharmacology**, Madrid, n. 76, p. 201-214, 2001.

PAULUS, D. et al. Substratos na produção hidropônica de mudas de hortelã. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 48-50, jan./mar. 2005.

PEARCE, R. B.; BROWN, R. H.; BLASER, R. E. Relationships between leaf area index, light interception and net photosynthesis in orchardgrass. **Crop Science**, Madison, v. 5, n. 6, p. 533-556, 1965.

PEREIRA, A. R., MACHADO, E. C. Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais. **Boletim Técnico**, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 114, 1987. 33 p.

PORTES, T. A.; CASTRO JUNIOR, L. G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 3, p. 53-60, 1991.

PRAKASH, A.; RAO, J. Wild sage, *Lippia geminata*: a paddy grain protectant in storage. **Oryza**, Orissa, v. 21, n. 4, p. 209-212, 1986.

RADFORD, P. S. Growth analysis formulae; their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v. 7, p. 171-175, 1979.

RASCHKE, K. Movements using turgor mechanisms. In: HAUPT, W.; FEINLEIB, M.E. (Eds.) **Physiology of movements**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. v. 7. p. 383-441.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**. 4. ed. Madri: Mundi-Prensa, 1996. 509 p.

ROCHA, A. M. S.; MORAES, J. A. P. V. Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, n. 9, v. 1, p. 41-46, 1997.

RODRIGUES, S. D. **Análise de crescimento de plantas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) submetidas a carência nutricionais**. 1982. 113 f. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1982.

RUIZ, H. A. Relações molares de macronutrientes em tecidos vegetais como base para a formulação de soluções nutritivas. **Revista Ceres**, Viçosa, n. 44, p. 533-546, 1997.

SANTOS, M. R. A.; INNECCO, R. Adubação orgânica e altura de corte da erva-cidreira brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 182-185, abr./jun. 2004.

SANTOS, M. R. A.; INNECCO, R.; SOARES, A. A. Caracterização anatômica das estruturas secretoras e produção de óleo essencial de *Lippia alba* (Mill.) N.E. Br. em função do horário de colheita nas estações seca e chuvosa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 35, n. 2, p. 377-383, jul./dez. 2004.

SANTOS, R. R. et al. Avaliação de variedades de goiabeira em Monte Alegre do Sul (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, p. 117-126, 1998.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 1, n. 3, p. 231-233, 1975.

SASSAKI, R. M.; FELIPPE, G. M. Response of *Dalbergia miscolobium* Benth. seedlings, a cerrado tree species, to mineral nutrient supply. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, p. 65-72, 1998.

SCAVRONI, J. **Desenvolvimento de *Mentha piperita* L. cultivada com diferentes níveis de bio sólido: avaliações fisiológicas, bioquímicas e fitoquímicas**. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado em Botânica)-Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SCHULZE, E. D.; HALL, A. E. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. LANGE, O.L. et al. **Physiological plant ecology. II**. Water relations and carbon assimilation. Berlin: Springer-Verlag, 1982. v. 12B. p. 181-230.

SHALE, T. L., STIRK W. A., VAN STADEN J. Screening of medicinal plants used in Lesotho for anti-bacterial and anti-inflammatory activity. **Journal of Ethnopharmacology**, Amsterdam, v. 67, p. 347-354, 1999.

SIDDIQI, M. V. et al. Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 21, p. 1879-1895, 1998.

STEFANINI, M. B. **Ação de fotorreguladores no crescimento, produção de biomassa e teor de óleo essencial em *Lippia alba* (Mill.) N.E.R.- Verbenaceae, em diferentes épocas do ano**. 1997.

127 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas/ Botânica)-Instituto de Biociências - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

STEFANINI, M. B.; RODRIGUES, S. D.; MING, L. C. Efeito do ácido giberélico, ethephon e CCC nos índices da análise de crescimento (A.F.E., R.A.F. e R.M.F.) de erva-cidreira brasileira (*Lippia alba*). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 15-19, 1998.

STEFANINI, M. B.; RODRIGUES, S. D.; MING, L. C. Ação de fitorreguladores no crescimento da erva-cidreira-brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 1, p. 18-23, mar. 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 819.

TEIXEIRA, N. T. **Hidroponia**: Uma alternativa para pequenas áreas. Guaíba: Agropecuária, 1996. 86 p.

TERBLANCHÉ, F. C., KORNELIUS, G. Essential oil constituents of the genus *Lippia* (*Verbenaceae*): a literature review. **Journal of Essential Oil Research**, Messina, v. 8, p. 471-485, 1996.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 3, p. 497-506, mar. 2000.

VALMORBIDA, J. **Níveis de potássio em solução nutritiva, desenvolvimento de plantas e a produção de óleo essencial de *Mentha piperitha* L.** 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

WOLEDGE, J. The effects of shading and cutting treatments on the photosynthetic rate of ryegrass leaves. **Annals of Botany**, Oxford, v. 41, n. 176, p. 1279-1286. 1977.

YAMAMOTO, P. Y. **Interação genótipo x ambiente na produção e composição de óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br.** 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical/ Melhoramento Genético Vegetal)-Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2006.

ZARONI, M. et al. Quantidade microbiológica das plantas medicinais produzidas no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 14, p. 29-39, 2004.

ZEIGER, E. Nutrição mineral. In: _____ . **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. cap. 5. p. 95-105.

ZOGHBI, M.G.B. et al. Essential oils of *Lippia alba* (Mill.) N.E.Br. growing wild in the brazilian amazon. **Flavour and Fragrance Journal**, Geneva, v. 13, n. 1, p. 47-48, 1998.