

Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel

Silvia R. S. Silva¹, Antônio Jacinto Demuner^{1*}, Luiz Claudio de Almeida Barbosa¹, Vicente Wagner Dias Casali², Evandro A. Nascimento³ e Antônio Lélis Pinheiro⁴

¹Laboratório de Análise e Síntese de Agroquímicos, Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ²Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. ³Departamento de Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. ⁴Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência.

RESUMO. O efeito de estresse hídrico sobre o teor, a composição química do óleo essencial e o crescimento de *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae) foi estudado. Cada tratamento constituiu-se de um regime hídrico: 1- irrigação em dias alternados com 0,5 L de água por vaso; 2- irrigação diária com 1 L de água por vaso; 3- lâmina de 1 cm de água (1 L) e 4- lâmina de 10 cm de água (12 L). A deficiência hídrica severa diminuiu o crescimento, a produção de biomassa fresca e seca das plantas e o teor de óleo essencial. Os principais constituintes do óleo essencial de *M. alternifolia* não diferiram significativamente entre os tratamentos, com 1,77 a 3,22% para o *p*-cimeno, 1,86 a 3,54% para o 1,8-cineol, 9,05 a 10,25% para o α -terpineol, 19,10 a 20,80% para o γ -terpineno e 37,89 a 39,37% para terpinen-4-ol.

Palavras chave: Myrtaceae, terpenos, 1,8-cineol, efeitos ambientais, α -terpineol, tea tree.

ABSTRACT. Effect of the water stress on the growth and the essential oil production of the *Melaleuca alternifolia* Cheel. The effect of water stress on the production, chemical composition of the essential oil and on the growth of *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae) was investigated. Each treatment consisted of a water regime (1- irrigation with 0,5 L of water per pot every two days; 2- irrigation with 1L of water per pot every day; 3- the pots were kept in a container with 1 cm of water (1L); 4- the pots were kept in a container with 10 cm of water (12L). The severe water deficiency resulted in a reduction in the plant growth, production of fresh and dry biomass and in the essential oil. The major constituents of the essential oil of *M. alternifolia* did not differ significantly among the treatments, with 1.77 to 3.22% for *p*-cymene, 1.86 to 3.54% for 1,8-cineol, 9.05 to 10.25% for α -terpineol, 19.10 to 20.80% to γ -terpinene and 37.89 to 39.37% for terpinen-4-ol.

Key-words: Myrtaceae, terpenes, 1,8-cineol, environmental effects, α -terpineol, tea tree.

Introdução

A adaptabilidade das plantas em condições de estresse é influenciada pela duração e magnitude do estresse, além da variabilidade genética. A concentração de princípios ativos nas plantas depende do controle genético e também das interações genótipo e ambiente, que podem ser desencadeadas em condições de estresse, ou seja, excesso ou deficiência de algum fator do meio ambiente, como água, luz, temperatura, nutrientes, dentre outros (Andrade e Casali, 1999).

A água é essencial à vida e ao metabolismo das plantas, portanto, seria esperado que em ambientes

mais úmidos a produção de princípios ativos fosse maior. No entanto, para algumas plantas medicinais a maior disponibilidade de água pode diminuir a produção de óleo essencial. Alguns estudos têm verificado que plantas com deficiência hídrica são mais vulneráveis a pragas e doenças, porém a resposta quanto as defesas químicas de muitas espécies ainda não está bem esclarecida (Andrade e Casali, 1999). Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, vários processos metabólicos nas plantas podem ser influenciados, como o fechamento estomático, o declínio na taxa de crescimento, o acúmulo de solutos e antioxidantes e a expressão de genes específicos de estresse (Singh-Sangwan *et al.*, 1994; Silva e Casali, 2000).

Espécies nativas da restinga brasileira submetidas a estresse hídrico apresentaram aumento significativo no conteúdo de prolina, redução na área foliar e no crescimento do caule das plantas (Kuki, 1997). O estresse hídrico também reduziu o teor de ácido ascórbico, a produção de matéria seca e a taxa de crescimento da vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Alcântara e Nogueira, 1992). Em espécies de *Thymus capillatus* Hoffmgg. et Link, o estresse hídrico promoveu o aumento da produção de óleos essenciais, com diminuição da fração fenólica e a irrigação aumentou a quantidade dos ácidos clorogênico, gálico e cafeico (Delitala et al., 1996). Por outro lado, plantas irrigadas podem compensar o baixo teor de princípios ativos com maior produção de biomassa, o que resulta em maior rendimento final de princípios ativos/área (Corrêa Júnior et al., 1994).

As espécies *Melaleuca uncinata* R. Br. e *Melaleuca lanceolata* Otto, quando submetidas a deficiência hídrica, reduziram significativamente o potencial hídrico, o potencial osmótico, o potencial de turgor e o conteúdo relativo de água da folha, aumentando o conteúdo de prolina e seus análogos (Naidu et al., 1987). Em condições de estresse hídrico, o crescimento de biomassa em *M. alternifolia* foi limitado quando a água disponível no solo era inferior a 69% (Murtagh, 1996).

Poucos são os trabalhos referentes ao efeito do estresse hídrico em plantas medicinais, principalmente em relação aos produtos do metabolismo secundário. O efeito sobre tais produtos parece variar bastante com o tipo, a intensidade e a duração do estresse, podendo aumentar ou diminuir o teor de óleos essenciais (Andrade e Casali 1999). A deficiência hídrica pode influenciar a composição química do óleo. A composição de monoterpenos em algumas espécies de *Cymbopogon* spp. pode variar de acordo com a intensidade e a duração do estresse hídrico; com 45 dias de estresse moderado, há aumento significativo de geraniol e a diminuição de citral, em *C. nardus* L. (Rendle); já em *C. pendulus* Stapf ocorre aumento de citral. Com 90 dias de estresse moderado, há redução do geraniol em *C. nardus* e aumento do citral em *C. pendulus* (Singh-Sangwan et al., 1994).

A espécie *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae), árvore pequena de até 5 m, conhecida como "tea tree", de casca fina, semelhante a folhas de papel, folhas afiladas de aproximadamente 20 mm de comprimento florescendo no verão. É nativa da costa subtropical nordeste, região de New South Wales, Austrália, crescendo em regiões pantanosas ou próximas a rios. Seu óleo essencial possui comprovada ação antimicrobiana contra bactérias e

bolores alteradores e/ou patogênicos, alguns vírus, microrganismos resistentes a antibióticos além de forte atividade repelente contra mosquitos, pulgas, piolhos entre outros. Devido às suas propriedades farmacológicas é utilizado em formulações farmacêuticas de vários produtos como shampoos, sabonetes, cremes dentais, anti-séptico bucal, repelente de insetos, produtos veterinários, germicidas de condicionadores de ar, dentre outros. Descoberto em 1920 por Penfold e Grant, o óleo é obtido por hidrodestilação ou destilação por arraste a vapor das folhas de *M. alternifolia*, que hoje é cultivada na Austrália em escala industrial para atender às demandas crescentes do mercado (Riedl, 1997).

O óleo essencial das plantas de *M. alternifolia*, cultivadas na Austrália, caracteriza-se pela mistura aproximada de 97 compostos, a maioria já identificados. Os principais constituintes são os compostos terpinen-4-ol, 1,8-cineol, α -terpineno, γ -terpineno, α -pineno, β -pineno, α -terpineol, *p*-cimeno e álcoois sesquiterpênicos, que representam cerca de 90% do óleo (Brophy et al., 1989; Murtagh e Smith, 1996). O rendimento de óleo essencial para várias espécies do gênero *Melaleuca* é variável, dependendo de diversos fatores (Murtagh, 1996). Em *M. alternifolia* o rendimento é de aproximadamente 1 a 2% do peso fresco da planta utilizada (Carson, 1993).

A qualidade comercial do óleo essencial de *M. alternifolia* é determinada pelas concentrações dos compostos terpinen-4-ol, e 1,8-cineol, que devem ser de no mínimo 30% e no máximo 15%, respectivamente (Carson e Riley, 1995). Estudos sobre o teor, a composição química e atividade antimicrobiana do óleo essencial de *M. alternifolia* cultivada no Brasil, indicam que o óleo possui as mesmas características qualitativas e quantitativas do óleo australiano (Silva, 2001).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de se avaliar a influência de regimes hídricos sobre a produção e a composição química do óleo essencial e o crescimento de *Melaleuca alternifolia* Cheel, visando encontrar as condições mais adequadas para o cultivo comercial dessa espécie no Brasil.

Material e métodos

Obtenção das plantas

As plantas foram obtidas a partir de sementes de exemplares adultos de *Melaleuca alternifolia*, que se encontram no setor de Dendrologia do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Estado de Minas Gerais. A semeadura foi realizada em tubetes plásticos de 131 mm de profundidade x 26,8 mm de

diâmetro, contendo o substrato moinho de carvão com composto orgânico na proporção 1:4. Após a germinação, foi feito o raleio das mudas à medida que estas cresciam, deixando-se apenas 1 muda por tubete. Os tubetes com as plantas permaneceram em estufa úmida durante 83 dias. Após este período foram colocados ao sol por mais 15 dias, visando a adaptação das plantas. A irrigação foi diária, por meio de aspersão, 4 vezes ao dia.

O transplante das mudas foi feito para vasos plásticos com capacidade de 40 L, contendo esterco bovino e terra na proporção 3:10, previamente preparados, molhados e colocados em estufa seca. Em cada vaso foram feitas oito perfurações na parte inferior. As duas perfurações laterais foram feitas a aproximadamente 2 cm da base do vaso e em posições opostas. A irrigação foi diária por meio de regador de crivos finos, até o umedecimento do solo.

Na verificação do crescimento da raiz, 16 dias após o plantio, escolheu-se uma planta entre aquelas da reserva, cuja altura média era a mesma das demais plantas do experimento. Após a retirada da terra do vaso, constatou-se que a raiz principal já estava suficientemente crescida, com aproximadamente 30 cm de comprimento, sendo os tratamentos iniciados.

Delineamento experimental

O delineamento experimental foi blocos ao acaso, com 4 tratamentos e 5 repetições, totalizando 200 plantas. Cada tratamento constituiu-se de um regime hídrico: tratamento 1- irrigação em dias alternados com 0,5 L de água por vaso; tratamento 2- irrigação diária com 1 L de água por vaso; tratamento 3- lâmina de 1 cm de água (1 L) e tratamento 4- lâmina inicial de 10 cm de água (12 L), por 65 dias e 15 cm (17,5 L) até o final do experimento.

Regimes hídricos

Nos regimes 1 e 2 os vasos receberam irrigação alternada e diária, de 0,5 L e 1 L por vaso, perfazendo o volume total de 30 L e 109 L, respectivamente. Nos regimes hídricos 3 e 4 cada vaso contendo a planta foi mergulhado dentro de uma bacia de polietileno de 17 cm de altura com 22 L de capacidade. O regime 3 consistiu na lâmina de 1 cm (1 L) de água. O regime hídrico 4 (testemunha) visou reproduzir as condições em que a planta cresce no seu habitat e onde há maior disponibilidade de água no solo. A bacia foi preenchida inicialmente, com a lâmina de 10 cm de água (12 L) por 65 dias, que posteriormente foi aumentada para 15 cm (17,5 L). Estes níveis foram mantidos constantes até o final do experimento.

Acompanhamento do crescimento e coleta das amostras

O crescimento das plantas foi quantificado a cada 15 dias, de acordo com Benincasa (1986), durante 106 dias. De cada planta foram obtidas as seguintes medidas: altura final, diâmetro do caule, a 5 cm da superfície do solo por meio de paquímetro, diâmetro da copa por meio de fita métrica, e o número de ramos, a 50 cm do solo. De cada parcela foram obtidos os seguintes dados:

- a) **Matéria fresca total (MFT):** Ao final do experimento, as plantas foram cortadas a aproximadamente 3 cm do solo, separadas em folhas, galhos e caule e imediatamente pesadas, sendo determinado a massa da matéria fresca.
- b) **Matéria fresca foliar (MFF) e matéria seca foliar (MSF):** As folhas foram pesadas separadamente e determinada a MFF; o equivalente a 10% da massa da matéria fresca total de folhas foi separada e determinada a MSF, em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, até massa constante. O restante do material foliar (90%) foi colocado em sala climatizada visando secagem e posterior extração do óleo destinado a análises qualitativas e quantitativas.
- c) **Matéria seca total (MST):** Na obtenção da massa de matéria seca total, foi separado o equivalente a 10% da massa fresca total. O material foi colocado em sacos de papel e estes em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, até massa constante. O valor total foi obtido pelo cálculo proporcional.
- d) **Área foliar (AF):** A área foliar foi determinada com base nas medidas de comprimento/largura das folhas, na equação com fator de correção e na matéria seca. Inicialmente a área foliar foi obtida com equipamento de medição "Area-meter", LI 3000A, cujos dados foram tomados de um número representativo de folhas, com suas medidas de comprimento e largura, ajustando-se, posteriormente, um fator de correção, que foi utilizado para determinar a área foliar das amostras coletadas, a partir das medidas de comprimento e largura de três folhas por planta.
- e) **Índice de área foliar (IAF):** Visando o cálculo da superfície do solo ocupada pela parte aérea da planta, determinou-se o IAF. Os valores de IAF foram obtidos pela divisão dos valores de área foliar (AF), em cm², pela superfície da projeção da copa em cm².

- f) **Razão de área foliar (RAF):** Com o objetivo de analisar o comportamento da área foliar relacionada ao desenvolvimento da planta, em termos de matéria seca produzida, determinou-se a RAF, pela divisão entre a AF, em cm², e matéria seca total da planta (MST), em gramas.
- g) **Outros índices:** A razão entre os valores do peso do óleo, em gramas, obtido em cada parcela pela matéria seca (POP/MS), pela matéria fresca (POP/MF) e pela área foliar (POP/AF) foram determinados para se avaliar a relação entre a produção de óleo e a produção de matéria seca, fresca e área foliar.

Extração do óleo essencial

O óleo essencial foi extraído por hidrodestilação, utilizando o aparelho de Clevenger modificado, por 3 horas. O óleo obtido foi recolhido com aproximadamente 50 mL de água e extraído com 3 x 50 mL de pentano. A fase aquosa foi descartada e a fase orgânica secada com sulfato de magnésio anidro (MgSO₄), em excesso. O sólido foi removido por filtração e o solvente evaporado sob pressão reduzida, a 40 °C. O óleo foi acondicionado em frascos de vidro e mantidos sob refrigeração a 4 °C, até o momento da análise qualitativa.

Análise qualitativa

As amostras de óleo essencial foram analisadas por cromatografia em fase gasosa, utilizando-se equipamento Shimadzu, modelo CG17A, com detector de ionização de chama (FID) e auto-injetor AOC-17. A coluna cromatográfica foi do tipo sílica fundida, com fase estacionária DB-5, de 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,5 micron de espessura do filme. O gás carreador utilizado foi o Nitrogênio (N₂). As temperaturas utilizadas foram 220 °C no injetor e 240°C no detector de ionização de chama. A programação da temperatura de realização das análises foi 60 a 240°C, sendo acrescidos 3°C a cada minuto, e o fluxo de gás de arraste foi 1 mL/minuto (Adams, 1995).

Os compostos foram identificados por comparação dos espectros de massas das amostras com os existentes no banco de dados do equipamento (Willey 140.000) e também pelo índice de retenção relativo (Adams, 1995). As condições do detector de massa foram energia de impacto 70 eV, velocidade de varredura 1000, intervalo de varredura de 50 a 160 daltons.

Análise estatística

Todos os resultados foram interpretados estatisticamente, por meio de análise de variância. As médias foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Resultados e discussão

Nas Tabelas 1 e 2, estão os resultados das variáveis de crescimento de *M. alternifolia*. Com relação aos valores médios da altura (Tabela 1), pode-se observar que o tratamento 2 (irrigação diária de 1L de água) causou significativo incremento em relação ao tratamento 1 (irrigação alternada de 0,5 L de água). Não houve diferença estatística entre os tratamentos 2, 3 (lâmina de 1 cm de água) e 4 (testemunha). Esse comportamento indica que o crescimento da planta é maior quando recebe volumes de água regulares (tratamento 2), e que a deficiência hídrica severa (tratamento 1) leva a um crescimento menor.

Tabela 1. Valores médios de altura, diâmetro do caule, número de ramos e diâmetro da copa de *Melaleuca alternifolia*. Tratamento 1 (irrigação alternada de 0,5 L de água por vaso), tratamento 2 (irrigação diária de 1 L de água por vaso), tratamento 3 (lâmina de 1 cm de água, tratamento 4 (lâmina de 15 cm de água)

Tratamentos	Variáveis			
	Altura (cm)*	Diâmetro do caule (cm)*	Número de ramos*	Diâmetro da copa (cm)*
1	157,8 b	12,4 c	26,7 a	54,2 b
2	195,0 a	15,7 ab	27,6 a	61,5 a
3	185,2 a	15,0 b	27,4 a	63,6 a
4	181,2 a	16,9 a	26,9 a	58,4 ab

*Médias, na mesma coluna, seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Tabela 2. Valores médios de matéria fresca total (MFT), matéria fresca foliar (MFF), matéria seca total (MST), matéria seca foliar (MSF) e área foliar (AF) de *Melaleuca alternifolia*. Tratamento 1 (irrigação alternada de 0,5 L de água por vaso), tratamento 2 (irrigação diária de 1 L de água por vaso), tratamento 3 (lâmina de 1 cm de água, tratamento 4 (lâmina de 15 cm de água)

Tratamentos	MFT*(g)	MFF*(g)	MST*(g)	MSF*(g)	AF*
1	126,7 c	65,8 c	47,1 c	23,2 c	6095,1 c
2	226,0 a	120,5 a	90,4a	43,6 a	10381,3 a
3	194,4 ab	103,8 ab	76,3 ab	37,3 b	8573,7 ab
4	176,9 b	87,8 b	68,6 b	32,2 b	7019,3 bc

*Médias na mesma coluna, seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

O diâmetro do caule das plantas da testemunha (tratamento 4), aumentou significativamente em relação ao tratamento 1, não diferindo do tratamento 2. O número de ramos (Tabela 1) não variou significativamente entre os tratamentos.

No tratamento 3, o valor médio do diâmetro da copa (Tabela 1), foi maior que no tratamento 1, porém não diferiu significativamente dos

tratamentos 2 e 4. As plantas mais altas e com os galhos mais longos (tratamentos 2, 3 e 4) foram mais eficientes na produção de óleo comparadas às plantas que cresceram menos e tiveram ramos mais curtos (tratamento 1) (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios do teor de óleo essencial (Tolco) de *Melaleuca alternifolia* e da massa de óleo por parcela pela razão de área foliar (MOP/RAF). Tratamento 1 (irrigação alternada de 0,5 L de água por vaso), tratamento 2 (irrigação diária de 1 L de água por vaso), tratamento 3 (lâmina de 1 cm de água, tratamento 4 (lâmina de 15 cm de água)

Tratamentos	Tolco	MOP/RAF
1	1,7 b	0,004 b
2	2,1 a	0,008 a
3	2,1 a	0,007 a
4	2,0 a	0,006 ab

*Médias na mesma coluna, seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Observa-se que os valores médios da matéria fresca total, da matéria fresca foliar, da matéria seca total, matéria seca foliar e área foliar, diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 2). No tratamento 2 (irrigação diária de 1L de água), os valores médios de todos os parâmetros mostrados foram significativamente maiores que o tratamento 1 (irrigação alternada de 0,5 L de água) e o tratamento 4 (testemunha). Não houve diferença significativa entre os tratamentos 2 e 3 (lâmina de 1 cm de água) quanto a matéria fresca total, a matéria fresca foliar e a matéria seca total. Os tratamentos 3 e 4, não diferiram significativamente entre si quanto a matéria seca foliar. A quantidade de água não influenciou a área foliar.

O estresse hídrico severo pode levar à diminuição nas defesas da planta, reduzindo o crescimento e a fotossíntese. A adaptabilidade e tolerância ao estresse hídrico, são estratégias intrínsecas diferentes às espécies vegetais (Carvalho e Casali, 1999). O comportamento de *Melaleuca alternifolia* indica que a deficiência hídrica severa (tratamento 1) diminui o crescimento e a produção de biomassa verde e seca das plantas. Porém, maior quantidade de água (testemunha) não implica em crescimento significativamente maior aos observados com quantidades regulares de água (tratamentos 2 e 3).

Nos experimentos realizados foram avaliados os índices de razão de área foliar (RAF), de área foliar (IAF), matéria fresca total (MFT), matéria fresca foliar (MFF), matéria seca total (MST) e matéria seca foliar (MSF) de *M. alternifolia*. Observou-se que os valores de RAF, IAF, MOP/MS, MOP/MF e MOP/AF não diferiram significativamente entre os tratamentos (Tabela 2). No tratamento 1, o teor de óleo foi menor, sendo significativamente inferior aos demais tratamentos (Tabela 3). O MOP/RAF foi

significativamente maior no tratamento 2, quando comparado ao tratamento 1, indicando que a produção de óleo se relaciona à produção de matéria seca, e não aos índices AF, RAF ou IAF quando analisados isoladamente.

A redução de 2,1 para 1,7% no teor de óleo provavelmente está relacionada à menor massa verde do tratamento 1. O estresse hídrico severo pode aumentar a concentração de óleo essencial, no entanto, a redução de biomassa verde leva, conseqüentemente, à diminuição no teor de óleo (Carvalho e Casali, 1999).

A análise química do óleo essencial das plantas com estresse hídrico mostrou que a concentração dos principais constituintes do óleo de *Melaleuca alternifolia* não diferiu significativamente entre os tratamentos. As concentrações dos principais compostos apresentaram valores médios de 1,77 a 3,22% para o *p*-cimeno, 1,86 a 3,54% para o 1,8-cineol, 9,05 a 10,25% para o α -terpineol, 19,10 a 20,80% para o γ -terpineno e 37,89 a 39,37% para o terpinen-4-ol, que estão de acordo com os valores médios encontrados para o óleo de *M. alternifolia* cultivada na Austrália (Carson e Riley, 1993).

Os quatro regimes hídricos mostram que mesmo sendo nativa de regiões pantanosas da Austrália, a composição química do óleo das plantas crescidas em Viçosa é semelhante àquela obtida nas plantas australianas, indicando que a deficiência hídrica severa (tratamento 1), diminui o teor de óleo essencial, pois há menor produção de biomassa seca, porém não influencia na composição química dos principais componentes do óleo essencial de *M. alternifolia*. O teor de óleo essencial em *M. alternifolia* é mais afetado pelas condições ambientais que a composição química deste (Homer *et al.*, 2000).

O crescimento de *M. alternifolia* cultivada nas condições brasileiras pode ser feito sem o ambiente pantanoso ou com volume excessivo de água, e que a produção de óleo ocorre de forma comparável com a das plantas cultivadas na Austrália.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de estudo (SRSS) e de pesquisa (LCAB, AJD, VWDC), e pelo apoio financeiro.

Referências

ADAMS, R.P. *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectroscopy*. Illinois: Carol Stream, 1995.

- ALCANTARA, M.F.A.; NOGUEIRA, R.J.M.C. Comportamento fisiológico da vinagreira (*Hibiscus sabdariffa*) em decrescentes níveis de umidade. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS DO BRASIL, 12, Curitiba, Paraná, *Anais...* Curitiba, 1992. p. 201.
- ANDRADE, F.M.C.; CASALI, V.W.D. *Plantas medicinais e aromáticas: relação com o ambiente, colheita e metabolismo secundário*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 1999.
- BENINCASA, M.M.P. *Análise de crescimento de plantas*. Jaboticabal: FUNEP, 1986.
- BROPHY, J.J. et al. Gas chromatography quality control for oil of melaleuca terpin-4-ol-type (Australian tea tree). *J. Agric. Food Chem.*, Kensington, v. 37, n., p. 1330-1335, 1989.
- CARSON, C.F.; RILEY, T.V. Antimicrobial activity of the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *Letters in Appl. Microbiol.*, Nedlands, v. 16, p. 49-55, 1993.
- CARSON, C.F.; RILEY, T.V. Antimicrobial activity of the major components of the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *J. Appl. Bacteriol.*, Canberra, v. 78, p. 264-269, 1995.
- CARVALHO, L.M.; CASALI, V.W.D. *Plantas medicinais e aromáticas: relações com luz, estresse e insetos*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 1999.
- CORRÊA JÚNIOR, C. et al. *Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas*. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 1994.
- DELITALA, L.F. et al. Estresse hídrico e flexibilidade do metabolismo fenólico in *Thymus capitatus*. *Fitoterapia*, Amsterdam, v. 57, n.6, p. 401-408, 1996.
- HOMER, L.E. et al. Natural variation in the essential oil content of *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae). *Biochem. Syst. Ecol.*, Kidlington, v. 28, p. 367-382, 2000.
- KUKI, N. *Efeito do estresse hídrico e salino sobre algumas espécies nativas da Restinga*. 1997. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- MURTAGH, G.J. Month harvest and yield components of tea tree. I. Biomass. *Aust. J. Agric. Res.*, Wollongbar, v. 47, p. 801-815, 1996.
- MURTAGH, G. J.; SMITH, G. R. Month of harvest and yield components of tea tree. II. Oil concentration, composition, and yield. *Aust. J. Agric. Res.*, Wollongbar, v. 47, p. 817-827, 1996.
- NAIDU, B.P. et al. Proline analogues in *Melaleuca* species: Response of *Melaleuca lanceolata* and *M. uncinata* to water stress and salinity. *Aust. J. Plant Physiol.*, Glen Osmond, v. 14, p. 669-677, 1987.
- RIEDL, R.W. Practical methods for using tea tree oil. *Agro-Food Industry Hi-Tech*, Ballina, set/oct, p. 34-36, 1997.
- SILVA, F.; CASALI, V.W.D. *Plantas medicinais e aromáticas: Pós colheita e óleos essenciais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, 2000.
- SILVA, S.R.S. *Composição química, avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial e deficiência hídrica de Melaleuca alternifolia Cheel crescida no Brasil*. 2001. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- SINGH-SANGWAN, N. et al. Effect of drought stress on growth and essential oil metabolism in lemongrasses. *New Phytol.*, Cambridge, v. 128, p. 173-179, 1994.

Received on October 09, 2001.

Accepted on April 12, 2002.