

INFLUÊNCIA DOS FATORES ABIÓTICOS NA PRODUÇÃO E VARIABILIDADE DE TERPENÓIDES EM PLANTAS

Helena Regina Pinto Lima¹
Maria Auxiliadora Coelho Kaplan²
Ana Valéria de Mello Cruz³

RESUMO

A produção e variabilidade de metabolitos especiais em plantas podem ser demonstradas sob diferentes condições de luz, temperatura, níveis de nutrição e água. Os monoterpenóides e sesquiterpenóides produzidos por diversos grupos vegetais são metabolitos frequentemente sujeitos a esses fatores abióticos. A baixa intensidade luminosa geralmente, diminui a produção de monoterpenos. Pequenas variações diárias de temperaturas estimulam a produção de terpenóides, enquanto que valores extremos causam sua redução. Os índices de precipitação não seguem um padrão, variando entre as espécies estudadas. O aumento do teor de nitrogênio e fósforo no solo favorece um maior rendimento no conteúdo de óleo essencial. Essa revisão procurou destacar a influência dos fatores ambientais na produção e na variabilidade dos terpenóides em algumas plantas com importância medicinal e econômica.

Palavras-chaves: Fatores abióticos, variabilidade terpenoídica, óleos essenciais

ABSTRACT

INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON TERPENOID PRODUCTION AND VARIABILITY IN THE PLANTS

The production and variability of special metabolities can be demonstrated under different light conditions, temperatures, levels of nutrition and watering in plants. The emission of monoterpenoids and sequiterpenoids by several plant groups is generally affected by those environmental factors. Low light intensity usually reduces the monoterpenoid production. Small daily changes in temperature stimulate the production of terpenoids, which decreases under high temperature. Variations in rainfall were not correlated to terpenoids production. The increase in soil N and P levels resulted in higher contents of essential oils. This review aimed to show how environmental factors may affect the production and variability of terpenoids in plants with medicinal and economical importance.

Key words: Abiotic factors, terpenoid variability, essencial oils

¹ Departamento de Botânica/IB- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e-mail: helena@ufrj.br

² Núcleo de Pesquisas de Produtos Naturais, Universidade Federal do Rio de Janeiro

³ Pós-Graduação do Núcleo de Pesquisas de Produtos Naturais, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Recebido para publicação em 2003.

INTRODUÇÃO

A natureza e a quantidade de metabolitos especiais produzidos durante o desenvolvimento do vegetal podem ser afetadas por radiação (alta ou baixa), temperatura (excessivamente elevada ou baixa), precipitação (alta, deficiente e seca total), ventos fortes, altitude, solo, época de coleta, entre outros (Evans, 1991; Vitti & Brito, 1999; Simões & Spitzer, 1999; Larcher, 2000; Calixto, 2001; Gouinguéné & Turlings 2002). Guenther (1997) citou que outros fatores podem influenciar a emissão desses terpenos como idade da folha, eventos fenológicos, acúmulo de nitrogênio foliar, herbivoria, injúria física e outras formas de estresse.

Segundo Raven (2001) e Verpoorte & Maraschin (2001) os terpenóides representam a maior classe química de constituintes ativos de plantas, havendo mais de 30.000 substâncias descritas. A classificação básica dos vários terpenos decorre do número de unidades isoprênicas que contêm. Os monoterpenóides com duas unidades isoprênicas (10 átomos de carbono) são voláteis e freqüentemente encontrados nos óleos essenciais, contribuindo para a fragrância das plantas que os produzem (Simões & Spitzer, 1999; Larcher, 2000; Raven, 2001). Parte da biossíntese dos monoterpenóides ocorre com base nas pentoses dos plastídeos (Gottlieb et al., 1996; Lichtenthaler, 1999; Verpoorte & Maraschin 2001; Niinemets et al., 2002), portanto, é fundamental a presença e a funcionalidade dessas estruturas (cito-diferenciação) para a sua produção. Voirin et al. (1990) observaram que o fotoperíodo recebido pelas folhas jovens de *Mentha x piperita* influenciou diretamente na composição dos monoterpenos. As taxas de síntese desses terpenos em muitas espécies é dependente da luz e da temperatura, bem como dos níveis de assimilação de carbono (Schuh et al., 1997; Shao et al., 2001).

O estudo da influência de fatores ambientais na variabilidade de monoterpenos é de grande importância segundo Gershenzon et al. (1978), pelo fato dessas substâncias terem significado biossistemático, ecológico, fisiológico e implicações evolutivas. A composição dos óleos essenciais de plantas é muito complexa, geralmente engloba vários tipos de substâncias (Larcher, 2000)

que variam segundo as pressões ambientais diversas. Em *Lippia sedoides*, por exemplo, foram detectados diferentes monoterpenos como constituintes majoritários provenientes de espécimes coletados em duas áreas distintas. Os indivíduos crescidos em Fortaleza (CE) produziram mais timol e os de Apodi (RN) o carvacol. Sousa et al. (2004) descreveram que hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) contém cerca de 1 a 3% de óleo essencial que apresenta considerável variação na sua composição, podendo ser atribuída a fatores intrínsecos e extrínsecos. Os autores citam como o principal componente da essência o (-)-mentol seguido de mentona, acetato de mentila, mentofurano entre outros. Foi encontrado porém, em um quimiotipo o predomínio do limoneno (75%), além da ocorrência de cineol e de mirceno. Maffei et al. (1993) observaram o efeito de alguns fatores ambientais sobre o metabolismo dos lipídeos em dois quimiotipos da *Rosmarinus officinalis* L.. Os resultados indicaram que nessa espécie a temperatura e umidade agiram aumentando os hidrocarbonetos epicuticulares e reduzindo os ácidos graxos epicuticulares, os ácidos graxos foliares e os óleos essenciais. Fatores geográficos foram indicados por Kustrak et al. (1984), em diferentes regiões do Mediterrâneo, como determinantes na produção de óleo.

Esta revisão visa reunir resultados que comprovam a ação de fatores externos diretamente sobre a produção e variabilidade de composição de óleos essenciais oriundos de plantas com importância econômica.

FATORES EXTERNOS

Luz

Lincoln & Langenheim (1978) estudaram *Satureja douglasii* (Benth.) Briq. sob condições controladas e observaram que a intensidade luminosa e a temperatura diária influenciaram a produção de monoterpenos. Esses autores observaram que com baixa temperatura diária houve um aumento em concentração dessas substâncias por peso seco e no rendimento por folha. Ao contrário, a baixa intensidade luminosa reduziu o conteúdo dessas substâncias por peso seco e teve pequeno efeito por folha.

Posteriormente, Firmage (1981) determinou os efeitos das variações de luz e de temperatura sobre a formação dos monoterpêneos. A baixa intensidade luminosa e as baixas temperaturas causaram variações significativas na quantidade de alguns componentes principais desses metabolitos e no rendimento total.

Croteau et al. (apud Bernáth, 1992) observaram que o conteúdo de óleo essencial de *Hedeoma drummondii* Benth. foi reduzido em 50% sob luminosidade baixa. Hornok (apud Bernáth, 1992) verificou que a sombra reduz significativamente o conteúdo de óleo volátil de *Mentha piperita* L.. Além da redução na quantidade, a composição do óleo também variou, com diminuição do mentol de 61,8% para 57,5%. Grahll & Hölzel (apud Bernáth, 1992) demonstraram que em dias longos havia uma produção de mentol e mentona, enquanto que dias curtos, o mentofurano predominava.

O efeito estimulador sob luz azul e luz vermelha na produção dessas substâncias tem sido contraditório até o momento (Pavlov & Ilieva; Salch; Kuzneycova & Hazanov apud Bernáth, 1992). Gouinguéné & Turlings (2002) estudaram os efeitos da intensidade luminosa na emissão de substâncias voláteis induzidas no milho e notaram um efeito dramático. No escuro não ocorreu essa emissão, enquanto que na presença de luz, houve um aumento acentuado.

Temperatura

Evans (1991) relacionou a produção do óleo essencial com a elevação da temperatura, muito embora, possa haver uma perda excessiva nos dias muito quentes. Em *Mentha piperita* L. o acréscimo de 2-3°C durante o dia levou a um aumento significativo na quantidade de óleo essencial (Hotyn apud Bernáth, 1992). O estudo realizado por Firmage (1981), sob condições controladas num sistema frio mostrou uma redução de pulegona e um aumento de (+)- limoneno e α -pineno em *Hedeoma drummondii*.

Lamb et al. (apud Guenther, 1997) usaram algoritmos numéricos para calcular a influência da temperatura na liberação de monoterpêneos.

Pitarevic et al. (1984) e Kustrak et al. (1984) estudaram a composição e o rendimento de óleo essencial nas folhas de *Salvia officinalis* L.,

crescidas espontaneamente nas Ilhas de Dalmatian (Iugoslávia), que tem importância condimentar e farmacêutica. Em sete amostras houve o predomínio de tujona, 1,8-cineol e cânfora, tendo o rendimento variado a cada mês. O teor máximo na produção de óleo essencial ocorreu no mês de julho; por outro lado, a produção maior de tujona, ocorreu em outubro (Pitarevic et al., 1984). Em amostras da zona climática submediterrânea (seca e quente) foram encontrados percentuais inferiores de rendimento de óleo essencial, quando comparado com aquelas da zona eumediterrânea, com um temperatura inferior e percentual elevado de precipitação Kustrak et al. (1984). Putievsky et al. (1986) também estudaram clones dessa espécie em condições de cultivo e observaram máximo de óleo essencial e alta produção de tujona no mês de julho época de grande luminosidade. Os autores citaram, que em outras espécies da família Lamiaceae, alterações no conteúdo e na composição do óleo essencial foram decorrentes da variação sazonal e do estágio reprodutivo (Basker & Putievsky apud Putievsky et al., 1986).

Espécies de milho (*Zea mays*), em temperaturas entre 22°C e 27°C, conduziram a liberação maior dos componentes voláteis, que em temperaturas inferiores ou mais elevadas (Gouinguéné & Turlings 2002).

Os estudos realizados em espécies de *Pelargonium*, sob condição climática tropical semi-árida, mostraram que os gerânios são sensíveis às variações sazonais. O rendimento e a concentração do óleo essencial nos meses de verão apresentaram valores inferiores. Esse período quente e seco é caracterizado por temperatura alta e umidade baixa que levam a redução de níveis fotossintéticos, crescimento e redução de biomassa. Os fotossintatos restritos ou não disponíveis afetam a síntese e o acúmulo do óleo essencial (Rajeswara Rao et al., 1996). Os meses de inverno favoreceram o acúmulo de grande quantidade de geraniol e de seus ésteres, confirmando as observações anteriores (Rajeswara Rao et al., 1990). A safra produzida em altitude elevada, com temperatura baixa e clima frio produziu grande riqueza de geraniol, quando comparado com aquela de altitude baixa e com clima tropical semi-árido. O estresse sofrido em relação a umidade e temperatura,

associado ao fotoperíodo longo, com intensidade de luz alta durante o verão, provavelmente conduziu à conversão de parte do geraniol em citrionelol e seus ésteres (Demame apud Rajeswara Rao et al., 1996).

Akrouf et al. (2003) estudaram a variação sazonal do óleo essencial de partes aéreas de *Artemisia campestris* L., ocorrentes em quatro áreas do sul da Tunísia, em três períodos do ano (abril, agosto e novembro). Essa espécie é utilizada na medicina tradicional, sendo feito decocto de suas folhas que habitualmente são coletadas no verão (agosto). Cabe ressaltar, que os autores encontraram o rendimento de óleo maior em agosto (1,2%) e o menor em novembro (0,65%) em todas as áreas. Nos exemplares coletados no verão foi encontradas uma quantidade relativamente elevada de hidrocarbonetos monoterpênicos. Os principais componentes dessa fração foram *b*-pineno, *a*-pineno, *p*-cimeno, limoneno, *b*-ocimeno e *g*-terpineno, representando mais de 59% do total do óleo. Os sesquiterpenos apresentaram um percentual variando de 5,0-29,8%, em todas as populações, nos exemplares coletados em novembro houve um máximo de produção de 26,7% a 29,8%. Apenas os sesquiterpenos oxigenados (espatulenol e *b*-eudesmol) apresentaram um rendimento maior em abril e agosto (20,9% e 15,5%) nos indivíduos de uma das populações.

Água

A produção e o acúmulo dos óleos essenciais nos vegetais podem ser influenciados em função da disponibilidade de água. Bernáth (1992) observou em *M. piperita* L. durante a floração, um aumento na produção de óleo essencial nas plantas irrigadas, quando comparadas com as não irrigadas. Evans (1991) citou que a precipitação anual exerce um efeito sobre a vegetação, influenciando diretamente a produção de óleo.

Andrade & Gomes (2000) estudaram a influência de alguns fatores não genéticos sobre o teor de óleo essencial em folhas de *Eucalyptus citriodora* Hook e registraram que folhas maduras, de indivíduos com 7 anos de idade, coletadas no outono (período de estiagem) proporcionaram maiores rendimentos em óleo essencial, comparadas 'aquelas coletadas no verão (período

chuvoso).

Burmeister e Guttenberg (apud Pitarevic, 1984) postularam que um longo período de seca em populações naturais de sálvia, foi a base para uma produção elevada de óleo essencial. Gouinguéné & Turlings (2002) também testaram o teor de umidade do solo e a umidade do ar na emissão de produtos voláteis nas plantas jovens do milho e observaram uma liberação maior quando colocadas em solo seco. Para o teor de umidade o ótimo considerado foi de aproximadamente 60% de umidade relativa.

Boira & Blanquer (1998) estudaram a relação entre os índices climáticos e os fatores edáficos em três quimiotipos de *Thymus piperella* L. localizados em províncias espanholas, com grande complexidade fisiográfica. O conhecimento da variação intraespecífica do óleo essencial dessa espécie permitiu estabelecer três quimiotipos. O denominado quimiotipo B: *p*-cimeno-timol está relacionado fortemente aos fatores bioclimáticos que incluem o balanço hídrico nas plantas e no solo.

Solo

O solo possui um efeito complexo sobre o crescimento, o desenvolvimento, a produção de matéria seca e, em especial, na produção de metabolitos especiais. Foi detectado no solo alcalino um efeito estimulador na produção de óleo essencial em *Valeriana officinalis* L. e em *Matricaria chamomilla* L. (Berbec; El-Badry & Hilal apud Bernáth, 1992).

O estudo com *Mentha arvensis* L. revelou um aumento no rendimento de óleo em aproximadamente 100% quando fornecido um suprimento maior de nitrogênio e de fósforo (Bains et al. apud Bernáth, 1992). Em *Ocimum basilicum* L., Wahab (apud Bernáth, 1992) observou a interação de nitrogênio, fósforo e potássio com um aumento percentual no conteúdo do óleo.

Mártonfi et al. (1994) estudaram a relação entre a variação de padrões de quimiotipos de *Thymus pulegioides* e a química do solo. A análise de correlações sugeriu que um aumento de carbonatos no solo fez decrescer a diversidade de quimiotipos das populações. A proporção do quimiotipo linalol aumentou e o do quimiotipo fenol declinou. Por

outro lado, o aumento do quimiotipo linalol ocasionou um decréscimo da diversidade de quimiotipos. O inverso foi observado sobre essa diversidade com a maior produção do quimiotipo carvacrol.

Estudos realizados com milho demonstraram também que a fertilização afeta fortemente a emissão dos voláteis (Gouinguéné & Turlings 2000).

Altitude

Evans (1991) citou que o aumento na altitude ocasionava uma diminuição no conteúdo de óleo essencial no tomilho e na menta. Por outro lado, o autor também mencionou a possibilidade de haver um máximo de produção em determinadas altitudes.

Kustrak et al. (1984) analisaram o rendimento e a composição do óleo nos indivíduos *Salvia officinalis* L. provenientes de diferentes regiões da Costa Adriática (Iugoslávia). Os autores constataram que os exemplares coletados a 1000m apresentavam um rendimento elevado.

Pugialli (1998) estudou algumas populações de *Renealmia chrysotricha* Petersen (Zingiberaceae) que cresciam sob diferentes altitudes, no Estado do Rio de Janeiro, e encontrou variações na composição do óleo essencial. Os indivíduos de Macaé de Cima, Friburgo-RJ, situados a 1000m mostraram um predomínio de substâncias sesquiterpênicas. Nos exemplares da Floresta da Tijuca-RJ (900m) apenas 3 substâncias monoterpênicas foram identificados. A população do Parque Nacional de Itatiaia-RJ, localizada a 760m apresentou maior diversidade em componentes, com maior ocorrência de monoterpênicos e sesquiterpênicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas questões climáticas apresentadas neste trabalho reforçam os cuidados que devem ser tomados na condução do trabalho de campo e a nas futuras avaliações qualitativas e quantitativas a respeito de metabolitos especiais, como os terpenóides.

O conhecimento prévio das condições de cultivo é fundamental, para estimular o aumento

ou manutenção da produção dos componentes dos óleos essenciais de importância econômica reconhecida. O valor de mercado do óleo essencial é determinado pela sua qualidade, que depende diretamente da composição terpenoídica.

A identificação de quimiotipos deve ser considerado um item importante para a manutenção da qualidade, planejamento de cultivos e obtenção de fitofármacos.

A variabilidade terpenoídica em plantas medicinais deve ser considerada como uma questão de alta relevância visto ser a droga vegetal caracterizada pelo teor do princípio ativo que contém. Com relação a saúde humana a faixa de variação da substância ativa deve ser muito pequena para que o medicamento seja seguro e eficaz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A.M. & GOMES, S.S. da Influência de alguns fatores não genéticos sobre o teor de óleo essencial em folhas de *Eucalyptus citriodora* Hook. *Floresta e Ambiente*, V.7, n.1, p.181-189, 2000.

AKROUT, A.A.; CHEMIL, R.; SIMMONDS, M.; KITE, G.; HAMMANI, M. & CHREIF, I. Seasonal variation of the essential oil of *Artemisia campestris* L.. *J. Essent. Oil Res.* V.15, p. 333-336, 2003.

BERNÁTH, J. Production ecology of secondary plant products. In: CRACKER, L.. E. & SIMON, J.E. (eds.): *Herbs, Spices and Medicinal Plants. Recent advances in Botany, Horticulture and Pharmacology.* New York: The Haworth Press, Inc., V.1, 1992. p. 185-234.

BOIRA, H. & BLANQUER, A. Environmental factors affecting chemical variability of essential oils in *Thymus piperella* L.. *Biochem. System. Ecol.*, V.26, n.8, p.811-822, 1998.

CALIXTO, J.B. Medicamentos Fitoterápicos. In: YUNES, R.A. & CALIXTO, J.B. (eds.): *Plantas*

- medicinais sob a ótica da química medicinal moderna. Argos- Ed. Universitária UNOESC, Santa Catarina: Campus Chapecó, 2001. p. 297-315.
- CROTEAU, R. Biochemistry of monoterpenes and sesquiterpenes of the essential oils. In: CRAKER, L.E. & SIMON, J.E. (eds.) Herbs, spices, and medicinal plants- Recent advances in botany, horticulture, and pharmacology. The Haworth Press, Inc.: New York, 1992. p. 81-131.
- CROTEAU, R. & GERSHENZON, J. Genetic control of monoterpene biosynthesis in mints (Mentha: Lamiaceae). In: STAFFORD, H (ed.) Recent advances in phytochemistry. Plenum Press: New York, 1994. p. 193-229.
- EVANS, W.C., Farmacognosia. 13 ed. Mexico, D. F.: Nueva Editorial Interamericana, 1991. 453p.,
- FIRMAGE, D.H. Environmental influences on the monoterpene variation in *Hedeoma drummondii*. Biochem. System. Ecol., V.9, n.1 p. 53-58, 1981.
- GERSHENZON, J.; LINCOLN, D.E. & LANGENHEIN, J.H. The effect of moisture stress on monoterpene yield and composition in *Satureja douglasii*. Biochem. Syst. Ecol., V.6, p. 33-43, 1978.
- GOTTLIEB, O.R.; KAPLAN, M.A.C. & BORIN, M.R. de M.B. Biodiversidade: um enfoque químico-biológico. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1996. 286 p.
- GOUINGUENÉ, S.P. & TURLINGS, T.C.J. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. Plant Physiology, V.129, p. 1296-1307, 2002.
- GUENTHER, A. Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emissions. Ecological Applications, V.7, n.1, p. 34-45, 1997.
- HEFENDEHL, F.W. & MURRAY, M.J. Genetics aspects of the biosynthesis of natural odors. Lloydia, V.39, p.39-52. 1976.
- KUSTRAK, D.; KUFTINEC, J. & BLAZEVIC, N. Yields and composition of sage oils from different regions of the Yugoslavian Adriatic coast. J. Nat. Prod., V.47, n.3, p.520-524, 1984.
- LAWRENCE, B. M. Monoterpene interrelationships in the *Mentha* genus: A biosynthetic discussion. In: MOOKHERJEE, B.D. & MUSSINAN, C.J. (eds.). Essential oils. Wheaton: Allured Publishing Co., V.IL. 1981. p.1-81.
- LARCHER, W. Ecologia vegetal, São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2000. p.33-40.
- LICHTENTHALER, H.K. The 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., V.50, p.47-65, 1999.
- LINCOLN, D.E. & LANGENHEIM, J.H. Effect of light and temperature on monoterpene yield and composition in *Satureja douglasii*. Biochem. System. Ecol., V.6, n.21, p.21-32, 1978.
- MAFFEI, M.; MUCCIARELLI, M. & SCANNERINI, S. Environmental factors affecting the lipid metabolism in *Rosmarinus officinalis* L. Biochem. System. Ecol., V.21, n.8, p.765-784, 1993.
- MÁRTONFI, P.; GREJTOVSKÝ, A. & REPCÁK, M. Chemotype pattern differentiation of *Thymus pulegioides* on different substrates. Biochem. System. Ecol., V.22, n.8, p.819-825, 1994.
- NIINEMETS, U; MARKUS, R.; STAUDT, M.; SEUFERT, G. & TENHUNEN, D. Stomatal constraints may affect emission of oxygenated monoterpenoids from the foliage of *Pinus pinea*. Plant Physiology, V.130, p.1371-1385, 2002.
- PITAREVIC, I. Seasonal variation of essential oil yield and composition of Dalmatian sage, *Salvia officinalis*. J. Nat. Prod., V.47, n.3, p.409-412, 1984.
- PUGIALLI, H.R.L. Polaridades evolutivas em Zingiberiflorae. 1998. 175f. Tese (Doutorado em Genética)- Departamento de Genética,

- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PUTIEVSKY, E.; RAVID, U. & DUDAI, N. The influence of season and harvest frequency on essential oil and herbal yields from a pure clone of sage (*Salvia officinalis*) grown under cultivated conditions. *J. Nat. Prod.*, V.49, n.2, p.326-329, 1996.
- RAJESWARA, R.; SATRY, K. P.; PRAKASA, E. V. S. & RAMESH, S. Variation in yield and quality of geranium (*Pelargonium graveolens* L" Her. ex Aiton) under varied climatic and fertility conditions. *J. Essent. Oil. Res.*, V.2, n. , p. 73-79, 1990.
- RAJESWARA, R.; KAUL, P.N.; MALLAVARAPU, G. R. & RAMESH, S. Effect of seasonal climatic changes on biomass yield and terpenoid composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* species). *Biochem. System. Ecol.*, V.24, n.7/8, p.627-635, 1996.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F. & EICHHORN, S. E. *Biologia Vegetal*. 6ªed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2001. 906p.
- SCHUH, G.; HEIDEN, A. C.; HOFFMAN, T.; KAHL, J.; ROCKEL, P.; RUDOLPH, J. & WILDT, J. Emissions of volatile organic compounds from sunflower and beech: dependence on temperature and light intensity. *J. atmos. Chem.*, V.27: 291-318, 1997.
- SENATORE, F.; SORIA, E.U.; SORIA, R.U.; PORTA, G.D. & DE FEO, V. Essential oils from two peruvian *Satureja* species. *Flavour Frag. J.*, V.13, n.1-4, 1998.
- SHAO, M.; CZAPIEWSKI, K. V.; HEIDEN, A. C.; KOBEL, K.; KOMENDA, M.; KOPPMANN, R. & WILDT, J. Volatile organic compound emissions from Scots pine: mechanisms and description by algorithms. *J. Geophys. Res.*, V.106: 20483-20491., 2001.
- SIMÕES, C.M.O. & SPITZER, V. Óleos voláteis. In: SIMÕES, C.M.O. et al. (orgs.). *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. Porto Alegre/Florianópolis: Ed. Universidade/UFRGS/Ed. Da UFSC, 1999. p. 387-415.
- SOUSA, M.P. DE; MATOS, M.E.O.; MATOS, F.J.A.; MACHADO, M.I.L. & CRAVEIRO, A.A. In: MATOS, F.J.A. (org.). *Constituintes químicos ativos e propriedades biológicas de plantas medicinais brasileiras*. Fortaleza: Ed. UFC, 2004. 448p.
- VERPOORTE, R & MARASCHIN, M. Engenharia do Metabolismo de Plantas Mediciniais. In: YUNES, R.A. & CALIXTO, J.B. (eds.): *Plantas medicinais sob a ótica da química medicinal moderna*. Campus Chapecó, Santa Catarina: Argos- Ed. Universitária UNOESC , 2001. p. 381-432.
- VITTI, A. M. & BRITO, J.O. Produção de óleo essencial de eucalipto. *IPEF- NOTÍCIAS*, V.23, n.146, p. 11, 1999.
- VOIRIN, B.; BRUN, N. & BAYET, C. Effects of daylength on the monoterpene composition of leaves of *Mentha x piperita*. *Phytochemistry*, V.29, n. 3, p.749-755, 1990.
- YUSUF, M.; BEGUM, J.; MONDELLO, L. & d'ALCONTRES, I.S. Studies on the essential oil bearing plants of Bangladesh. Part VI. Composition of the oil of *Ocimum gratissimum* L. *Flavour Frag. J.*, V.1, p.163-166 1998.