

PLANTAS MEDICINAIS E AROMÁTICAS:

**Relação com o Ambiente, Colheita e
Metabolismo Secundário**



**Fernanda M. C. de Andrade
Vicente W.D. Casali**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

Reitor: Luiz Sérgio Saraiva

Vice Reitor: Carlos Siguelyuki Sedyama

Diretor do Centro de Ciências Agrárias: Maurinho Luiz dos Santos

Diretor do CEE: José Levy de Oliveira

Chefe do Departamento de Fitotecnia: Geraldo Antônio de Andrade
Araújo

Coordenador do Programa de Pós-Graduação e Fitotecnia: Tocio
Sedyama

" A vaidade é meu pecado favorito"

(Lúcifer)

**VIÇOSA - MG
1999**

AUTORES

Fernanda Maria Coutinho de Andrade - Nascida em Ubá, MG. Graduiu-se no curso de Engenharia Agrônômica em dezembro de 1995 na Universidade Federal de Viçosa, iniciando o curso de Mestrado em Fitotecnia em agosto de 1997 na UFV. Membro "Grupo Entre Folhas - Plantas Medicinais"/DFT/UFV.

Vicente Wagner Dias Casali - Engenheiro Agrônomo, 1966, UFRRJ; M.S. Fitotecnia, 1970, UFV; Ph. D. Genética e Melhoramento, 1973, Purdue University-EUA; Professor Titular da UFV desde 1968. Membro do "Grupo Entre Folhas - Plantas Medicinais"/DFT/UFV desde 1989.

COMPOSIÇÃO, REVISÃO, ARTE TÉCNICA E CAPA

Reginalda Célia Lopes - Graduiu-se em Ciências Biológicas em janeiro de 1994, pela Universidade Mackenzie, São Paulo, SP. Em 1997, conclui o curso de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas Medicinais, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. Membro do "Grupo Entre Folhas - Plantas Medicinais" /DFT/UFV desde 1994.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela Criação, e pelas oportunidades de Serviço nesta vida, pela Natureza que nos serve de caminho e exemplo na busca do entendimento.

Ao povo que transmite sua sabedoria a respeito da Natureza no decorrer de toda a história da humanidade.

Aos pesquisadores que buscam maior compreensão dos Caminhos da Natureza.

Ao Grupo Entre Folhas que nos dá a oportunidade de convívio com as plantas medicinais e com as pessoas sábias.

Aos nossos pais (Alberto e Corintha) e (Sylvio e Celuta) que sempre nos apoiaram e não cortaram as asas de nossas imaginações.

Aos nossos companheiros de estrada Thomas e Jesuína pelo amor e compreensão.

À Reginalda Célia Lopes pela dedicação e esforços dispensados para conclusão deste trabalho.

Ao Departamento de Fitotecnia e à Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa.

Ao Professor Antônio Jacinto Demoné pelo encaminhamento e sugestões.

Fernanda M.C. de Andrade

Vicente W.D. Casali

APRESENTAÇÃO

Esta publicação é uma revisão bibliográfica sobre alguns temas envolvidos com Plantas Medicinais, onde observações e experimentações de pesquisadores são relatadas.

Quando nos referimos às Criações Divinas como no caso das Plantas Medicinais, nos deparamos com um universo de mistérios, possibilidades e perfeição e partimos em busca do entendimento, de satisfazer nossa curiosidade até o ponto que só nos resta reverenciarmos, agradecermos e colocarmos a Serviço.

O objetivo deste livro é apenas um alerta para que percebamos melhor como uma simples plantinha, guarda em seu interior valiosos tesouros e grandes ensinamentos, e como sempre se encontram em busca de equilíbrio e harmonia.

Este livro é o primeiro de uma série planejada para a leitura de estudantes universitários, pós-graduados e pessoas vinculadas a área de plantas medicinais.

A expectativa dos autores é oferecer um texto atualizado com alguns trabalhos acessados na Biblioteca da UFV. É uma contribuição ao conhecimento das plantas medicinais e aromáticas.

PREFÁCIO

Após a leitura deste livro a convicção que permaneceu foi o esforço dos autores para iniciarem a série de textos que juntamente facilitarão o estudo das plantas medicinais e aromáticas.

O texto foi propositalmente simples e objetivo de modo que o conteúdo fosse passado prontamente ao leitor. A intenção de se lançar vários livros sobre plantas medicinais, cada volume com a abordagem de um ou vários temas, é elogiosa face a dificuldade de se ter textos em português com profundidade suficiente que permita aos estudantes de graduação e pós-graduação fácil acesso às informações atualizadas.

Os autores tem se esforçado nas suas atividades acadêmicas em captar trabalhos importantes que realmente possam contribuir com o avanço da área e também tem realizado pesquisas com método e com persistência na Universidade Federal de Viçosa.

Não tenho dúvida que esta obra, que inaugura a série de livros sobre Plantas Medicinais e Aromáticas, preencherá uma lacuna no Brasil, destacadamente no ensino universitário e nas instituições de pesquisa ou extensão.

A produção gráfica certamente facilitará o acesso dos potenciais leitores, visto que não é carregado de sofisticções e maiores elaborações. O que os autores tiveram em vista é servir à massa de leitores sem onerar o custo do aprendizado.

Concluindo, parabenizamos a todos que viabilizaram essa obra que passa aos leitores uma parte do mundo das plantas medicinais, suas relações com o ambiente, colheita e alguns segredos da química-física do metabolismo secundário.

Boa Leitura.

Reginalda Célia Lopes

Bióloga (Universidade Mackenzie)

M.S. Genética e Melhoramento

de Plantas Medicinais - UFV

" A semente lançada na terra deve germinar, criar raízes, estender seus ramos em direção à luz; receberá os embates dos elementos, e com isso se fortalecerá, transforma-se-á em planta adulta, cumprirá ciclos e etapas. E chegará o dia em que seus rebentos se abrirão em flores, e em que as flores exalarão suave perfume, sagrada promessa do que está reservado ao mundo dos seres humanos".

A CRIAÇÃO - Trigueirinho

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: RELAÇÃO COM O AMBIENTE

Introdução	1
Interação Genótipo X Ambiente	3
Efeitos do Ambiente.....	8
Fatores Bióticos	8
Fatores Abióticos	15
Latitude	18
Altitude	19
Temperatura	20
Luminosidade	22
Disponibilidade de Água	24
Nutrição	32
Manejo da Cultura	41
Considerações Finais	42
Referências Bibliográficas	47

CAPÍTULO 2: COLHEITA

Introdução	59
Colheita	61
Operações Pós-Colheita	72
Secagem Natural	80
Secagem Artificial	81
Considerações Finais	83
Referências Bibliográficas	88

CAPÍTULO 3: METABOLISMO SECUNDÁRIO

Introdução	95
Metabolismo Secundário	96
Principais Classes de Compostos Naturais Ativos	97
Alguns Metabólitos Derivados do Ácido Shiquímico	99
Triptofano e Compostos Relacionados	102
Fenóis e Ácidos Fenólicos	102
Fenilpropanóides	103
Alguns Metabólitos Derivados dos Aminoácidos	110
Alcalóides	111
Alcalóides Derivados do Metabolismo da Ornitina e Lisina.....	112
Alcalóides derivados do Metabolismo da Fenilalanina e Triptofano	113
Alcalóides Derivados do Triptofano	114
Alcalóides Derivados do Ácido Antranílico	114

Alguns Metabólitos Derivados do Acetato.....	114
Ácidos Graxos e Polyketides	114
Isoprenóides : Metabólitos Derivados do Mevalonato	115
Importância e Relações do Metabolismo Secundário	121
Interação Planta- herbívoro	128
Interações Inseto-inseto	129
Interações Planta-planta	130
Interações Planta-microrganismos	131
Considerações Finais	131
Referências Bibliográficas	137

RELAÇÃO COM O AMBIENTE

CAPÍTULO 1



INTRODUÇÃO

As plantas medicinais são o recurso primário natural na medicina tradicional e também indústria farmacêutica. Grandes quantidades são usadas no preparo de infusões e decocções tanto nos países onde a medicina tradicional é um grande recurso terapêutico, social e econômico, como também nos países industrializados onde é crescente a parcela da população que vem usando as plantas medicinais. Grandes quantidades de plantas são utilizadas pela indústria no preparo de um largo espectro de derivados desde extratos com um alto conteúdo de constituintes ativos, até produtos quimicamente puros, onde se tem o uso direto destes medicamentos ou o uso para síntese de outros produtos.

É cada vez mais crescente a utilização dessas plantas tanto pela medicina tradicional quanto pela indústria, como também a necessidade de padronização da qualidade de todos derivados naturais (produtos puros, extratos e plantas) de forma a assegurar a continuidade das propriedades farmacológicas e/ou organolépticas. Portanto, o uso de plantas coletadas em seus habitats deve ser abandonado ou limitado dando lugar ao uso de plantas cultivadas por meio de tecnologias alternativas e apropriadas.

O cultivo das plantas medicinais além de possibilitar a sobrevivência das plantas espontâneas em seus ambientes, uma vez que minimiza o seu extrativismo, permite maior previsibilidade na

composição fitoquímica. BALBAA (1983), enfatiza que é aconselhável, em muitos casos, o cultivo das plantas medicinais para a melhoria da qualidade da droga. Esta melhoria pode ser resultante do cultivo de espécies, variedades ou híbridos que tenham os caracteres desejados; pode ser devido ao melhor desenvolvimento das plantas, proveniente do melhor manejo das condições de solo, práticas agrícolas, controle de fungos e insetos, etc.; pode ser devido a melhores condições de colheita e tratamento pós-colheita como secagem em temperaturas adequadas, dentre outros.

A maioria das substâncias utilizadas medicinalmente são produtos do metabolismo secundário da planta. Os metabólitos secundários não têm papel básico nos processos fisiológicos do vegetal, desempenhando mais uma função ecológica sendo envolvidos na defesa das plantas à microrganismos, insetos herbívoros, além de que a biossíntese "de novo" destes compostos protetores é induzida também por danos mecânicos e estresse ambiental (ZANGERL et al., 1997).

Sabe-se que determinadas espécies medicinais apresentam diferentes recomendações terapêuticas pelo saber popular, variando de acordo com o seu local de ocorrência (MARTINS et al., 1994). Segundo BROWN JÚNIOR (1988), aos poucos vem sendo reconhecido que tais variações podem ocorrer ao longo de diferentes eixos temporais e espaciais, tanto genéticos (indivíduos,

população, taxonomia) quanto ecológicos (pressões de variação em clima ou solos, parasitas, predadores, competidores, patógenos) e fisiológicos (estágio de desenvolvimento, ritmo estacional ou circadiano, alocação de energia, caminhos metabólicos alternativos, hormônios, estado reprodutivo).

Em manjerição (*Ocimum* spp.) foi verificado ser a influência ambiental significativa no aspecto quantitativo da produção dos constituintes químicos, tornando necessário a avaliação dos efeitos fitoterápicos de acordo com o ambiente de desenvolvimento da planta (KAMADA, 1999).

Portanto o levantamento de todos esses fatores permite o manejo mais equilibrado do ambiente da planta para que transmute sua energia e matéria à síntese de substâncias importantes no ambiente e ultimamente sua utilização pelo ser humano (BROWN JÚNIOR, 1988). Tais conhecimentos auxiliam e são determinantes na adequação de estratégias de cultivo em cada espécie.

INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE

Fatores genéticos, também chamados fatores intrínsecos, definidos pelo genótipo, são responsáveis por regular e manter características próprias da planta, em relação aos seus diversos aspectos, como a síntese de metabólitos.

MING (1994), observou que diversas plantas medicinais, com número de cromossomos alterados, apresentam variações na produção de princípios ativos. Em *Atropa belladonna*, a forma $4n$ produziu 68% a mais de atropina que a forma $2n$, em *Datura stramonium* a forma $4n$ produziu de 60 a 150% de nioscinamina que a forma $2n$. Já em *Mentha spicata* a forma $4n$ produziu somente cerca de 10% de mentol produzido pela forma $2n$.

Grande parte das espécies medicinais utilizadas não é cultivada. Segundo KAMADA (1998), trabalhos de seleção e melhoramento de plantas medicinais são escassos, ou inexistentes na maioria das espécies, sendo necessário o desenvolvimento de estudos relacionados à adequação dessas plantas às condições de cultivo.

A aplicação de leis de hereditariedade na agricultura tem possibilitado produzir drogas brutas de melhor vigor e taxa de crescimento, resistência a doenças e estresses além do aumento na produção e atividade dos constituintes (BALBAA, 1983). Segundo TÉTÉNY (1983), a base genética da planta assegura em grande parte a eficiência de crescimento e habilidade de produção de compostos. A amplitude de variabilidade do fenótipo em função de mudanças ambientais é específica do genótipo (KAMADA, 1998).

TOFFOLI et al. (1994), verificaram que as espécies *Hesperozygis ringens* e *Hesperozygis rhododon* cultivadas em mesmo ambiente apresentaram diferentes rendimentos do óleo essencial das folhas, 4% e 1% respectivamente, além do óleo

volátil de *H. ringens* ser caracterizado por importante concentração de pulegona (79%), tendo também sido encontrados derivados oxigenados, ausentes no óleo de *H. rhododon* onde o maior constituinte é a mentona (43,4%), enquanto que a pulegona representa apenas 30% de sua fração volátil.

SOARES *et al.* (1984), observaram que as espécies *Senna occidentalis*, *Senna tora* e *Senna alata* contêm saponinas e esteróides enquanto que flavonas e/ou flavonóides estão presentes apenas em *S. alata* e *S. tora*.

O objetivo fundamental de produção de novos e superiores tipos é alcançado pelo controle do processo de fertilização natural e pela utilização da variabilidade genética, mutações e capacidade de hibridização (BALBAA, 1983).

MASSOUD (1992), verificou significativas diferenças quanto a quantidade e qualidade do óleo essencial das sementes coletadas de dez cultivares de *Foeniculum vulgare* crescidos em mesmo ambiente (Quadro 1).

A estabilidade do comportamento de cultivares nos ambientes é diferenciada, significando que o melhor genótipo em determinado ambiente dificilmente se mantém superior em ambientes diversos (KAMADA, 1998).

TAKEO (1981), analisando os constituintes das raízes de *Camelia sinensis* observou no cultivar Assamica maior presença de linalol e no cultivar Sinensis maior produção de geraniol,

enquanto os clones domesticados provenientes do Japão e híbridos de Assam e China apresentaram características intermediárias (Quadro 2).

MAGALHÃES (1997), menciona melhor rendimento de digoxina e de digitoxina na espécie *Digitalis lanata* quando esta foi propagada a partir de sementes de linhagens melhoradas provenientes da Europa.

Quadro 1 - Composição e produções de cultivares de várias origens de *Foeniculum vulgare*.

Origem	Óleo Essencial		Fenchona		Anetol		Estragol	
	% ^a	kg/ha	% ^b	kg/ha	% ^b	kg/ha	% ^b	Kg/ha
Turquia	2.43	131.90	2.85	3.76	83.31	109.90	5.24	6.92
Polônia	2.26	28.84	17.52	4.64	69.02	18.54	3.32	0.90
França A	3.98	91.55	13.87	12.76	75.47	69.48	3.05	2.80
Argentina	3.00	59.00	8.59	5.10	79.89	47.54	6.44	3.84
Hungria	2.33	38.67	16.32	4.68	70.71	19.04	4.03	1.06
França B	3.88	54.38	16.62	9.04	71.35	38.80	3.01	1.64
Albania	2.95	40.70	15.82	6.44	84.08	34.28	4.34	3.04
Marrocos	2.57	96.65	0.86	6.84	38.82	37.52	7.47	7.22
Yugoslávia	2.82	41.59	13.58	5.64	38.82	16.14	3.82	1.58
Egito	2.71	120.90	1.76	2.12	40.63	49.12	47.15	57.00

^a - nas sementes secas

^b - no óleo essencial

Adaptado de MASSOUD, 1992.

Quadro 2 - Variações no conteúdo de álcool terpeno em cultivares de *Camellia sinensis*.

Cultivar	Clone		Total de Terpeno (ng/g)	Índice	
<i>Camellia sinensis</i> cv <i>assamica</i>	Sri Lanka	1	18	1.00	
		21	11	1.00	
	Bõ (Malaya)	11	13	1.00	
		17	15	1.00	
		44	12	1.00	
		45	7	1.00	
	50	15	1.00		
Híbrido selecionado no Japão	Cambodia		5	0.76	
	Hathumomiji		11	0.70	
	Benifuji		10	0.60	
	Sathumabeni		9	0.53	
	Tadanishiki		21	0.47	
	Indo		14	0.21	
	Benihomare		22	0.24	
	Sayamakaori		7	0.69	
<i>Camellia sinensis</i> cv <i>sinensis</i> (clones comuns do Japão)	Yamakai		4	0.68	
	Z-1		4	0.66	
	Koro		7	0.62	
	Yabukita		8	0.51	
	Asathuyu		14	0.50	
	Tamamidori		11	0.47	
	Asahi		9	0.44	
	Kurasawa		9	0.30	
	Fujimidori		12	0.12	
	<i>Camelia sinensis</i> cv <i>sinensis</i> (transplantadas de Taiwan)	Formosa wild clone		14	0.31
		Fuchou		6	0.23
		Hwan kuan		21	0.17
		Chin shin dar pan		29	0.16
Dar yei wu lon			17	0.10	
C-3			18	0.10	
Jein lan			25	0.09	
Chin shin			33	0.07	
C7		26	0.07		

* Índice: Conteúdo de linalol/conteúdo total de terpeno
Adaptado de TAKEO, 1981.

EFEITOS DO AMBIENTE

Estes fatores podem ser divididos em bióticos e abióticos, considerando que determinada população está sempre interagindo com o ambiente, recebendo influência e interferindo no meio ao mesmo tempo (CASTELLANI, 1997).

Fatores bióticos

Os fatores bióticos estão relacionados com as interações planta-microrganismos, planta-planta e planta-herbívoros, e constituem respostas dos mecanismos que variam de acordo com suas relações ecológicas locais e imediatas, resultando em situações que podem alterar os processos internos de síntese de metabólitos.

Organismos são sujeitos a ataque por predadores e podem produzir substâncias aleloquímicas para sua proteção. Essas substâncias resultantes de metabolismo secundário são micromoléculas estruturalmente muito variadas desempenhando possivelmente uma função ecológica, formam-se pela extensão das rotas primárias a micro e macromoléculas de valor intrínseco para seu produtor (GOTTLIEB, 1987).

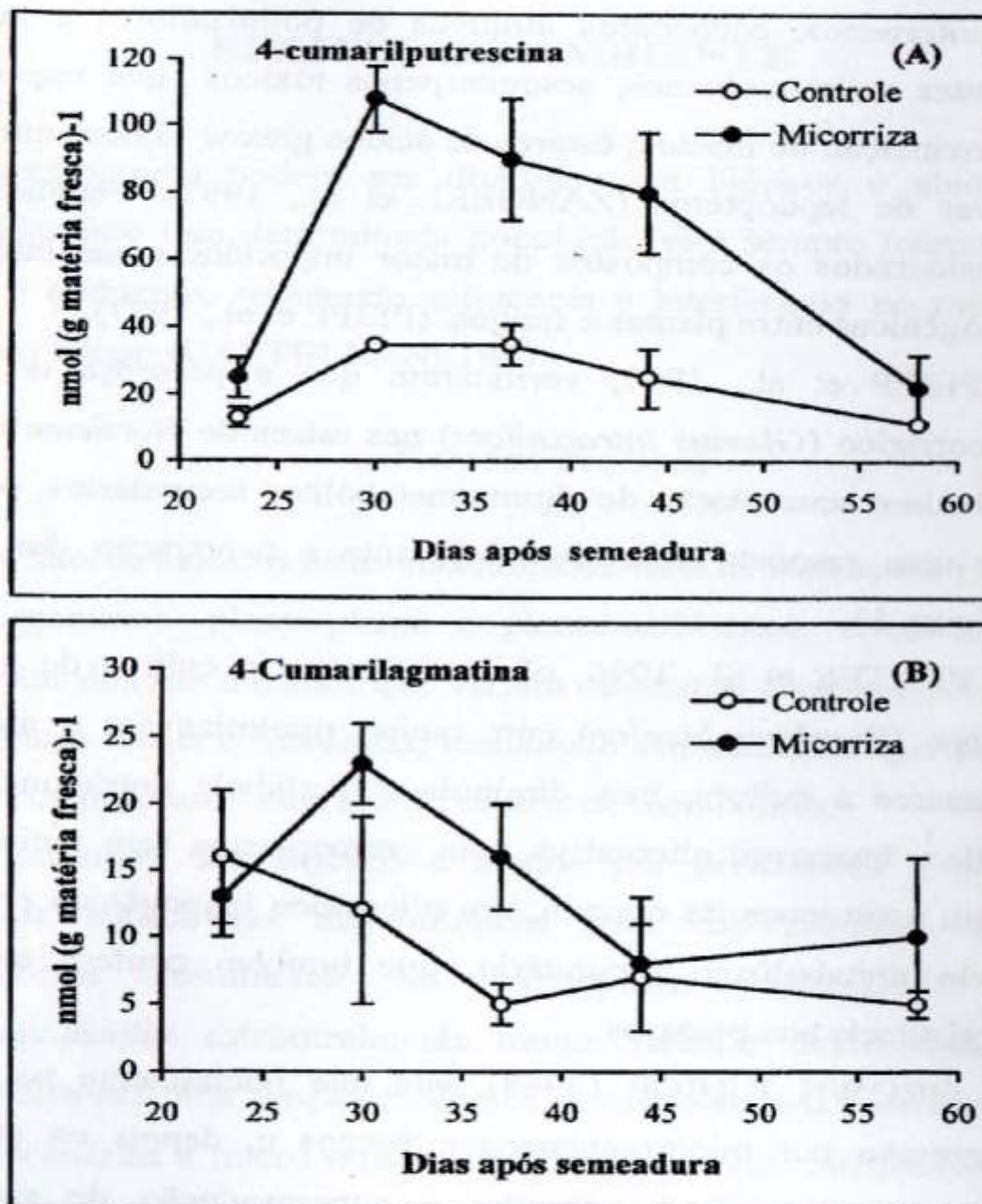
Muitos dos conhecidos grupos de compostos secundários encontrados são: furanocumarinas que têm demonstrado propriedades tóxicas à muitos herbívoros, fenilpropanóides tóxicos a certos insetos, com efeito tóxico sinérgico às furanocumarinas;

monoterpenos, conhecidos atrativos de polinizadores e também agentes antimicrobianos; sesquiterpenos tóxicos que impedem a aproximação de insetos; ésteres de ácidos graxos tóxicos em certas larvas de lepdópteros (ZANGERL et al., 1997). Fenólicos são considerados os compostos de maior importância nas interações patogênicas entre plantas e fungos. (PEIPP et al., 1997).

PEIPP et al., 1997, verificaram que a presença do fungo micorrízico (*Glomus intraradices*) nas raízes de *Hordeum vulgare* induziam acumulação de alguns metabólitos secundários, podendo ser uma resposta defensiva da planta à penetração dos fungos (Figura 1).

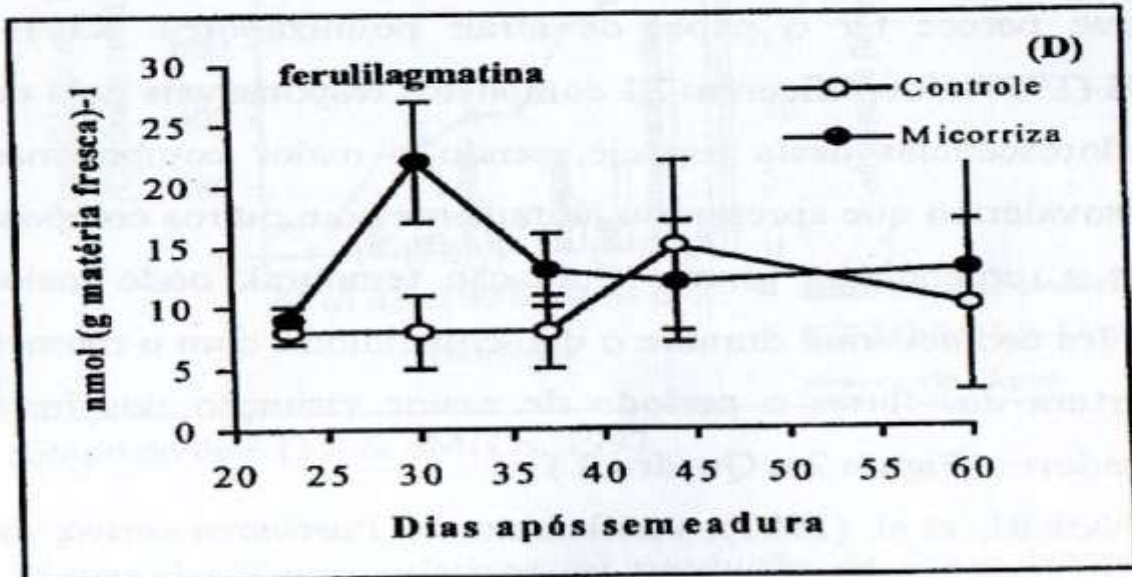
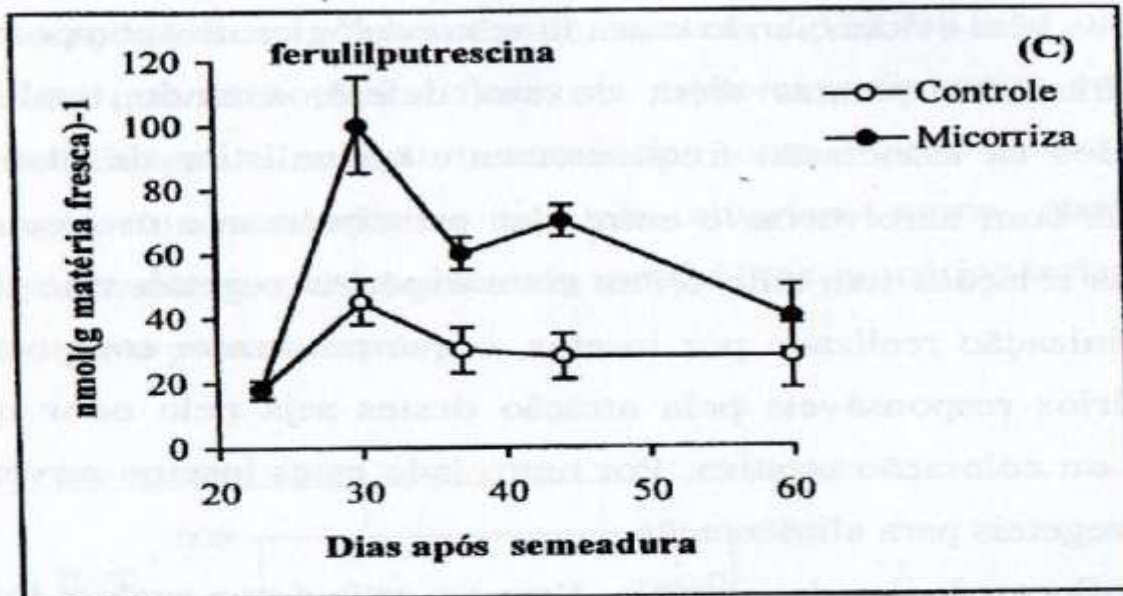
PRATES et al., 1996, observando que o cultivo de grãos de sorgo (*Sorghum bicolor*) com tanino minimizavam o ataque de pássaros à cultura, mas diminuía a qualidade nutricional destes grãos, buscaram alternativa num germoplasma sem taninos, mas com a presença de dhurrin, um glicosídeo cianogênico produzido pelo metabolismo secundário, que também confere aos grãos resistência aos pássaros.

BROWN JÚNIOR (1988), cita que inicialmente no caso de agressão por microrganismos e fungos e, depois no ataque de pragas, é possível estimular a superprodução de substâncias defensivas (eventualmente também medicinais), freqüentemente ausentes em plantas não agredidas, por meio de pressões de inimigos que ativaram bancos inteiros de genes biossintéticos.



Adaptado de PEIPP et al., 1997.

Figura 1 - Padrões de acúmulo de amidas do ácido hidroxicinâmico baseados na matéria fresca de raízes de aveia não colonizadas e colonizadas com *G. intraradices* (micorriza).



Adaptado de PEIPP et al., 1997

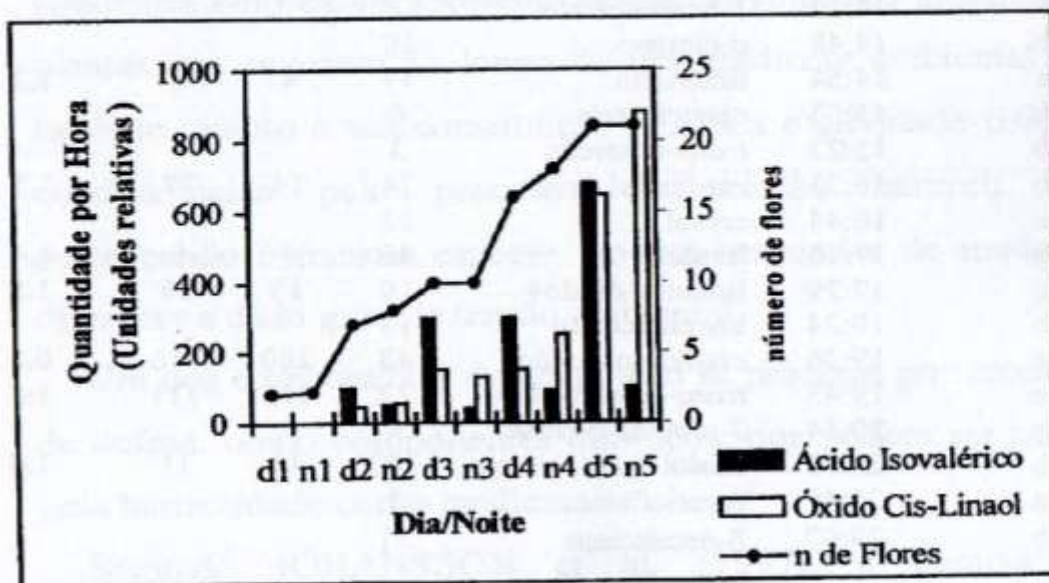
Continuação da Figura 1.

Segundo GOTTLIEB (1987), no caminho evolutivo vários resultados vêm evidenciando outra função ecológica dos compostos secundários das plantas além de sua defesa, estando também envolvidos na associação freqüentemente mutualística de plantas floríferas com herbívoros, e entre eles principalmente os insetos. Algumas relações têm sido feitas entre espécies vegetais que têm sua polinização realizada por insetos, e que produzem compostos secundários responsáveis pela atração destes seja pelo odor que exalam ou coloração atrativa. Por outro lado estes insetos servem-se dos vegetais para alimentação.

As inflorescências da espécie *Senecio articulatus* exalam forte odor que parece ter o papel de atrair polinizadores. KITE & SMITH (1997), identificaram 22 compostos responsáveis pelo odor das inflorescências desta espécie, sendo o maior componente o ácido isovalérico que apresentou juntamente com outros compostos (ésteres e terpenóides) grande flutuação temporal, onde maiores produções aconteceram durante o dia, coincidindo com o momento de abertura das flores e período de maior visitaçao dos insetos polinizadores (Figura 2 e Quadro 3).

ZANGERL et al. (1997), verificaram em *Pastinaca sativa*, altos níveis de metabólitos primários e secundários voláteis no estágio inicial de desenvolvimento, enquanto que no estágio final do desenvolvimento foi caracterizado por baixos níveis de metabólitos primários e altos níveis de metabólitos secundários não voláteis,

sendo este caminho consistente com mudanças naturais de interações entre a planta e os insetos. ZANGERL et al. (1997), relata que os botões e flores de espécies polinizadas por insetos estabelecem a relação mutualística com esses visitantes, onde compostos secundários voláteis atuam como atrativo aos polinizadores e altos níveis de metabólitos primários teriam função nutritiva para os insetos.



Adaptado de KITE & SMITH, 1997.

Figura 2 - Taxas relativas de produção de ácido isovalérico e óxido cis-linaol (forma piranóide) de uma única inflorescência de *Senecio articulatus* comparadas ao número de flores abertas (n).

Quadro 3 - Composição química (ppt) do odor de uma inflorescência (com 8 capítulos) e um capítulo simples de *Senescio articulatus*.

Identificação	Tempo de Retenção	Compostos	Capítulo			
			dia (ppt)	dia (ppt)	noite (ppt)	razão (dia/noite)
a	8:49	1-butil acetato	8			
a	9:52	ácido isovalérico	387	552	181	7.3
a	10:20	isoamil acetato	2			
a	13:12	benzaldeído	62			
a	13:36	mirceno	89			
b	14:11	α -felandreno	31			
b	14:22	1-hexil acetato	7			
b	14:48	<i>o</i> -cimeno	10			
a	14:54	limoneno	11	4	8	1.3
b	15:03	<i>cis</i> -ocimeno	6			
b	15:23	<i>trans</i> -ocimeno	3			
b	16:21	<i>cis</i> -linalol óxido	14	14	28	1.5
c	16:44	cresol	13			
b	17:16	linalol	46	4	8	1.4
c	17:29	linalone óxido [†]	19	15	36	1.5
b	19:24	benzil acetato	13			
c	19:36	<i>cis</i> -linalol óxido [•]	48	280	616	0.8
c	19:43	<i>trans</i> -linalol óxido	22	119	111	1.8
b	20:14	2-metoxi- <i>p</i> -cresol	9			
b	22:50	linalol óxido acetato [*]	183	11	11	1.0
a	26:49	β -cariofileno	5			
b	29:07	δ -decalactona	11			

† 3-Oxo-2,2,6-trimetil-6-viniltetrahidropiran.

• 3-Hidroxi-2,2,6-trimetil-6-viniltetrahidropiran.

* 3-Acetoxi-2,2,6-trimetil-6-viniltetrahidropiran.

a - comparação com padrão

b - comparação da retenção com dados publicados

c - comparação com dados publicados

Adaptado de KITE & SMITH, 1997.

Fatores abióticos

Entre os diversos fatores abióticos encontram-se pressões de variações climáticas ou edáficas.

A diversidade de ambientes ecogeográficos do Brasil é responsável por sua enorme quantidade de espécies de plantas medicinais.

Segundo OLIVEIRA (1997), a adaptação às mais diversas condições ambientais apresenta desafios evolutivos incomuns, e as plantas que ocorrem ao longo de um gradiente ambiental variam também quanto à sua constituição genética e atividade fisiológica, condicionadas pelo processo de seleção natural; embora pertencendo à mesma espécie, podem responder de modo muito diferente a dado grau de tensão ambiental.

Um dos componentes de adaptação se processa por mecanismos de defesa, como componentes químicos, que podem ser utilizados pela humanidade como medicinais.

Segundo JOHANSSON et al. (1997), o conteúdo e a composição do óleo de sementes de muitas plantas é afetado pela localização geográfica e condições climáticas do local de crescimento.

CABO et al. (1986), encontraram variações quantitativas e qualitativas na essência de *Thymus hyemalis* quando coletados em três localidades (Quadro 4).

Quadro 4 - Análises de *Thymus hyemalis* de 3 localidades (A,B e C)

	A	B	C
HIDROCARBONETOS			
α -pineno	3.53%	5.06%	2.93%
canfeno	1.55%	7.34%	6.10%
β -pineno	traços	1.71%	0.98%
mirreno	2.00%	31.35%	16.90%
α -felandreno	1.48%	0.80%	0.50%
limoneno	2.15%	3.71%	4.00%
<i>p</i> -cimeno	52.71%	1.85%	1.50%
cariofilene	traços	traços	traços
ALCÓOIS			
linalol	4.20%	3.72%	6.10%
γ -terpineol	2.64%	traços	11.90%
borneol	traços	0.70%	(+ terpenil acetato)
citronelol	traços	4.26%	traços
geraniol	2.18%	traços	traços
terpinen-4-ol	traços	traços	traços
ACETATOS			
linalil acetato	2.15%	3.59%	6.20%
terpenil acetato	1.77%	traços	11.90%
isobornil acetato	0.70%	12.25%	(+ γ -terpineol)
geranil acetato	0.50%	0.63%	1.90%
ALDEÍDOS			
citral	traços	traços	traços
CETONAS			
cânfora	traços	12.00%	1.20%
FENÓIS			
timol	3.08%	traços	2.80%
carvacrol	0.99%	0.52%	1.80%
ÉTERES			
cineole	15.45%	17.07%	13.60%

Traços: Conteúdo menor que 0,5%
Adaptado de CABO et al., 1986.

SMITH & ROBINSON (1981) identificaram os constituintes do óleo de *Zingiber officinale* proveniente de Fiji e compararam com os resultados obtidos em outros estudos onde a raiz procedia de outras localidades, obtendo composições diferentes (Quadro 5). Segundo BALBAA (1983), o gengibre cultivado na Jamaica tem um flavor superior aos cultivados em outros países, enquanto que os cultivados na África são mais pungentes.

Segundo NAVARRO et al. (1989), a espécie *Satureja obovata* coletada em diferentes localidades apresentou variações qualitativas e quantitativas do óleo essencial, da fração fenólica, bem como variou a atividade antimicrobiana e espasmolítica.

MIRALDI & FERRI (1996) verificaram que o *Peumus boldus* crescido na região de Tuscany, Itália possui melhor qualidade que o crescido no Chile, pois tem o óleo rico em ascaridol e outros constituintes aromáticos e baixos níveis de constituinte tóxico.

WYK et al. (1995) avaliando os constituintes do exudado da folha de *Aloe ferox* proveniente de 34 localidades, não observaram variações significativas do conteúdo dos constituintes majoritários, mas a verificaram em função dos constituintes minoritários.

GONNET (1983), também verificou variações nos teores de glicosídeos flavonóides da espécie *Chaerophyllum aerum* coletadas em diferentes localidades.

Quadro 5 - Composição dos componentes majoritários do óleo de gengibre proveniente de Fiji, pela análise de GLC.

Composto	% (da área do pico)					% (Composições do óleo de gengibre publicadas)			
	Fiji					Austrália	Outros *	Índia	Japão
	A	B	C	D	E				
Cineol	10	9	6	8	6	—	—	1.3	4-11
Linalol	3	2	1	1	1	—	—	1.3	0.8-3
Desconhecido	3	2	1	1	1	—	—	—	—
Desconhecido	3	2	1	1	1	—	—	—	—
Neral	26	20	9	10	10	1-10	tr-1	0.8	8-27
Geraniol	40	29	26	21	18	3-20	tr-3	1.4	12-36
Sesquiterpeno									
Hidrocarboneto	13	36	30	50	57	34-62+	48-85	66	12-23

* Jamaica, Nigéria, Sierra Leone, China e Cochin.

+ O armazenamento até 60% do óleo volátil foi ar-curcumina.

As amostras FijiA-E foram fracionadas em colunas MS 200/12500 operadas em 120° por 10 min, e depois 10°/min até 170°.

Adaptado de SMITH & ROBINSON, 1981.

a) Latitude

Latitude é a distância que determinada região se encontra da linha do Equador. Teoricamente, plantas cultivadas em latitudes equivalentes (N e S) tenderiam a ter o mesmo comportamento em relação ao desenvolvimento, época de floração e teor de princípios ativos. Porém, nem sempre isso vem sendo observado. Estudos

com *Datura stramonium* e *Hyosciamus sp.*, demonstraram que plantas cultivadas em latitudes sul eram mais ricas em alcalóides que as cultivadas em latitude norte equivalente (CORREA JÚNIOR et al., 1991).

Sementes de *Rubum chamaemorus* e *Empetrum nigrum* coletadas entre latitudes de 60,5° e 69,5° apresentam variações quanto ao conteúdo e composição do óleo (JOHANSSON et al., 1997).

A concentração e composição do óleo dos aquênios de duas espécies anuais e onze espécies perenes de *Helianthus*, foi influenciada pela localização geográfica, especialmente devido a latitude que é correlacionada com a temperatura. A correlação entre a concentração de óleo e a latitude e longitude foi positiva e significativa, tanto para as espécies perenes como para as anuais (SEILER, 1994).

b) Altitude

À medida que a altitude aumenta (altura da região em relação ao nível do mar) diminui a temperatura (cerca de um grau a cada 200 metros) e aumenta a insolação, interferindo no desenvolvimento das plantas e na produção de princípios ativos (CORREA JÚNIOR et al., 1991).

SACO & BELMONTE (1988), observaram a variação do conteúdo de thebaine, um alcalóide presente em *Papaver bracteatum*, quando a espécie cresceu em região de altitude de 1280 m e 1119m, pelo período de 4 anos, levando também em consideração os estágios de crescimento da planta. Observou-se que à 1280 m o aumento do alcalóide foi similar em cada ano de crescimento e superior (84-88%) quando comparado com as plantas crescidas à 1119 m (58-68%).

A espécie *Chinchona succirubra* cresce melhor em baixos níveis de altitude, mas nesta condição praticamente não produz alcalóides (BALBAA, 1983).

Segundo TÉTÉNYI (1983), o ótimo habitat no cultivo da *Arnica montana* é altitudes superiores à 1800 m acima do nível do mar onde a espécie produz os maiores teores de flavonóides totais.

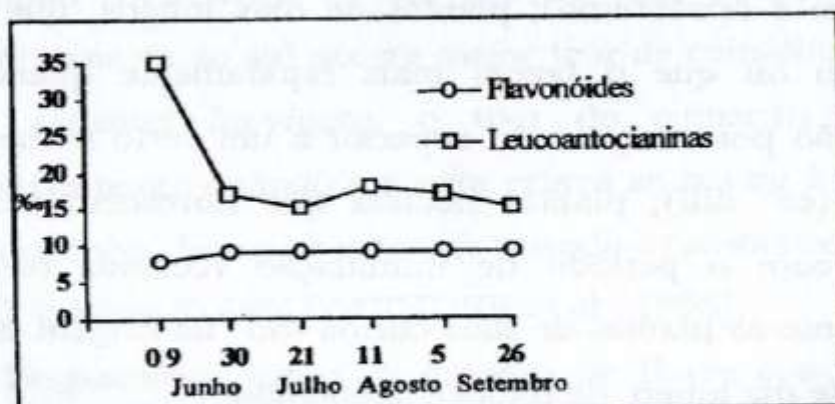
A *Achillea millefolium* quando cultivada em regiões de altitude acima de 1000m, apresenta menor porte e maior teor de óleos essenciais (CORREA JÚNIOR et al., 1991).

c) Temperatura

Dentre os fatores climáticos, a temperatura exerce função muito importante na sobrevivência do vegetal, por estar mais ligada ao crescimento e desenvolvimento da planta. Segundo CORREA JÚNIOR et al. (1991), existe uma curva de crescimento da planta

onde existe temperatura mínima, temperatura máxima e faixa de temperatura ótima para o desenvolvimento de cada espécie. Espécies pouco adaptadas às temperaturas de uma determinada região terão sérios problemas em produzir biomassa e princípios ativos, pois influi no metabolismo primário (respiração e fotossíntese) e por conseqüência no secundário, sendo que todos os outros fatores climáticos estão direta ou indiretamente relacionados com a temperatura (MARTINS et al., 1994).

Segundo VOIRIN & LEBRETON (1972), a temperatura controla a variação estacional da produção de flavonóides e de leucoantocianinas, e também o crescimento de *Asplenium thichomanes*. À baixas temperaturas (12°C), a biossíntese de flavonóides é mais favorecida que a de leucoantocianinas a qual aparentemente é menos sensível a este fator (Figura 3).



Adaptado de VOIRIN & LEBRETON, 1972

Figura 3 - Influência da temperatura sobre os teores de flavonóides.

d) Luminosidade

A luz desempenha papel fundamental na vida das plantas, influenciando na fotossíntese e em outros fenômenos fisiológicos, como crescimento e desenvolvimento. As plantas também respondem à luz e escuridão dentro de um ciclo de 24 horas, comportamento conhecido como fotoperiodismo, que em muitas espécies são responsáveis pela germinação de sementes e formações de bulbos e flores.

Segundo BALBAA (1983), as plantas medicinais se enquadram dentro das três grandes classes do fotoperiodismo com respeito ao florescimento: plantas de dia curto, que são as que florescem quando recebem iluminação durante um período inferior a um determinado número de horas por dia, abaixo do fotoperíodo crítico (ex: fumo e crisântemo); plantas de dias longos, que são as que florescem ou que o fazem mais rapidamente quando recebem iluminação por um período superior a um certo número de horas por dia (ex: dill); plantas neutras que florescem sem nenhuma relação com o período de iluminação recebida (ex: pimenta). Geralmente as plantas de dias curtos são de origem tropical, e as plantas de dia longo de regiões temperada.

O fotoperiodismo exerce influencia na determinação do ponto de colheita, produção de sementes, escolha da época de plantio, além de que plantas em condições ambientais favoráveis têm

capacidade para utilizar melhor a energia solar e realizar a fotossíntese com mais eficiência e teoricamente com maiores rendimentos econômicos (CASTELLANI, 1997). Portanto, a adaptação da planta ao local de crescimento pode levar a alterações morfológicas, anatômicas e produtivas.

LETCHAMO & GOSSELIN (1996), verificaram que plantas de *Thymus vulgaris* que recebiam um suplemento de luz apresentavam maior número de glândulas de óleo essencial, maior conteúdo de óleo e maior deposição de cera na superfície foliar, em relação às plantas que receberam somente luz natural (Quadro 6).

Centella erecta, quando exposta ao sol apresenta aumento no diâmetro do pecíolo, maior número de células parenquimáticas no limbo foliar e maior teor de saponinas triterpênicas (AZEVEDO et al., 1996).

Segundo BARROS et al. (1992), em *Justicia pectoralis* (chambá) exposta ao sol ocorre maior teor de cumarinas. Porém na espécie *Mikania laevigata*, o teor de cumarina não variou significativamente quando a planta estava ao sol ou à sombra, mas houve tendência de maiores teores quando expostas ao sol (0,85%) do que à sombra (0,66%) (REHDER et al., 1998).

Em *Trapaeolum majus*, o número de flores e a produção de sementes decresce em função do sombreamento, porém o sombreamento não influenciou o rendimento de óleo e de ácido crúico extraídos da semente, no entanto, esses índices decrescem

com a menor exposição solar, indicando que a espécie possui limites de tolerância amplos para esse fator (CASTELLANI, 1997).

Quadro 6 - Efeito da luz suplementar e do conteúdo de água do substrato (CAS) na cera epicuticular (CE) e conteúdo de óleo essencial (COE) de seleções de *Thymus vulgaris*.

Seleção	CAS (%)	Luz suplementar		Luz Natural		
		COE (%)	CE (mg/m ²)	COE (%)	CE (mg/m ²)	
Laval 1	90	1.72b	171bc	1.10a	128a	
	70	2.18c	179bc	1.26a	148b	
	50	1.28ab	214c	1.11a	163ab	
	Média	1.73	188	1.16	146	
Laval 2	90	1.63b	169ab	1.15a	114a	
	70	2.14c	174bc	1.35ab	128a	
	50	1.24a	208c	1.21a	146b	
	Média	1.67	184	1.24	129	
Significância (efeito principal)		Interação				
Luz (L)		***	***	LXA	***	***
Água (A)		***	**	LXS	n.s.	***
Seleção (S)		n.s.	n.s.	AXS	n.s.	n.s.
				LXAXS	*	n.s.

*, **, *** Significante ($P \leq 0.005, 0.01, 0.0001$) n.s. não significante

Valores seguidos da mesma letra não são significativos pelo teste Waller-Duncan ($P \leq 0.05$)

Adaptado de LETCHAMO & GOSSELIN, 1996.

e) Disponibilidade de água

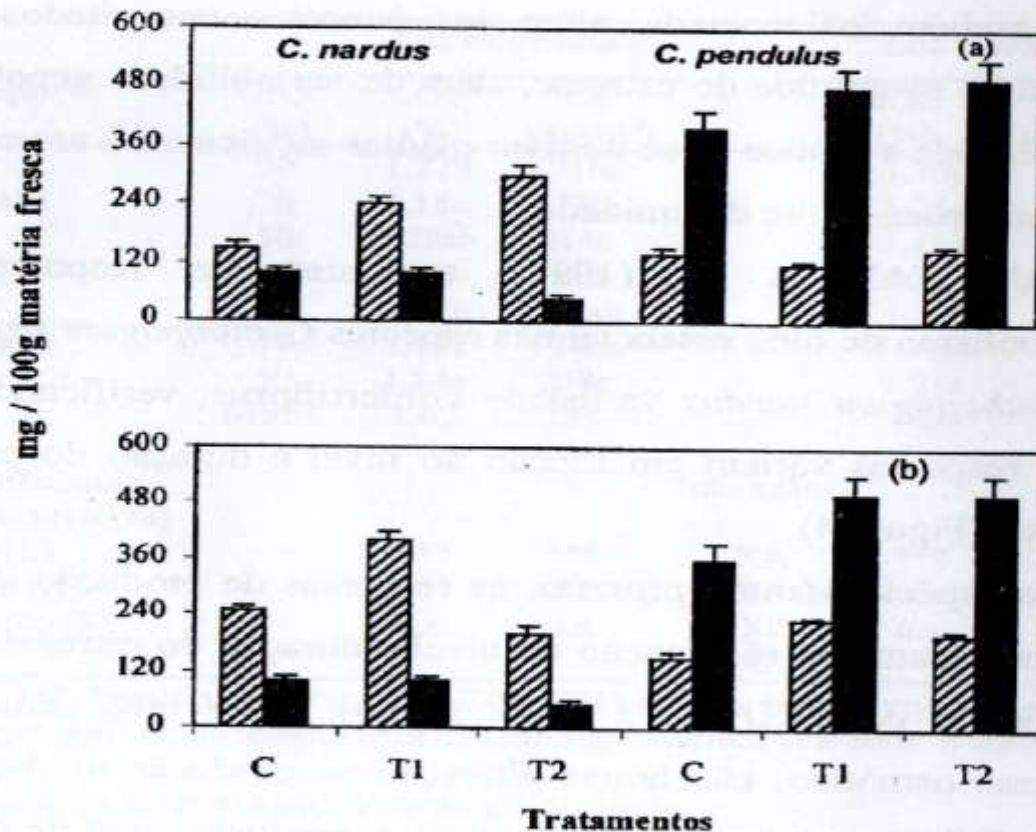
A água não é um nutriente para a planta, mas é de importância decisiva no seu crescimento, uma vez que é o meio transportador

de substâncias solúveis, além de mediar todos os processos bioquímicos. A eficiência de absorção de água do solo pela planta depende das condições climáticas onde está crescendo, da capacidade de água do solo e das exigências de água pela planta durante os diferentes estágios de desenvolvimento (FRANZ, 1983). A adaptabilidade da planta em condições de estresse hídrico tem sido também influenciada, além dos fatores acima citados, pela duração e magnitude do estresse, além da variabilidade genotípica. É conhecida a prática de se cultivar plantas medicinais e aromáticas em condições-limite de umidade.

SANGWAN et al. (1994), estudaram as respostas do metabolismo de óleo essencial nas espécies *Cymbopogum pendulus* e *Cymbopogum nardus* variedade *confertiflorus*, verificando que estas respostas variam em função do nível e duração do estresse hídrico (Figura 4).

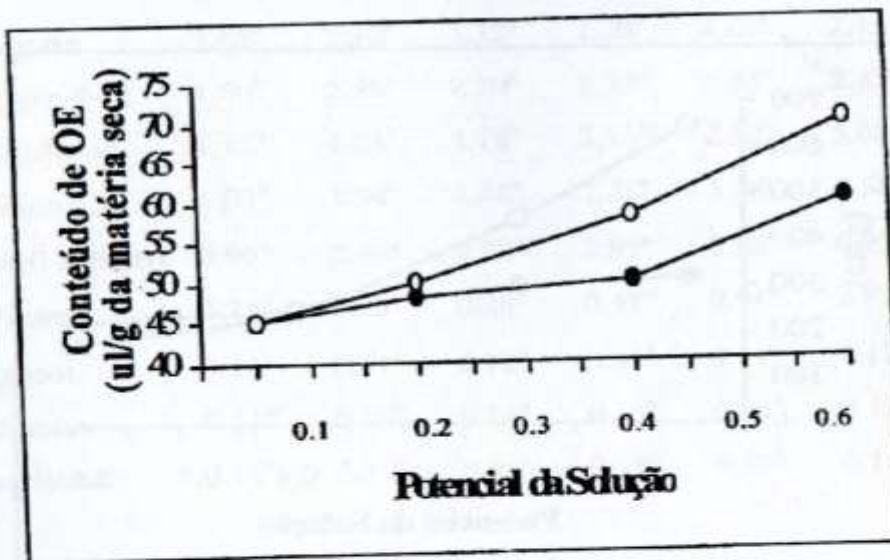
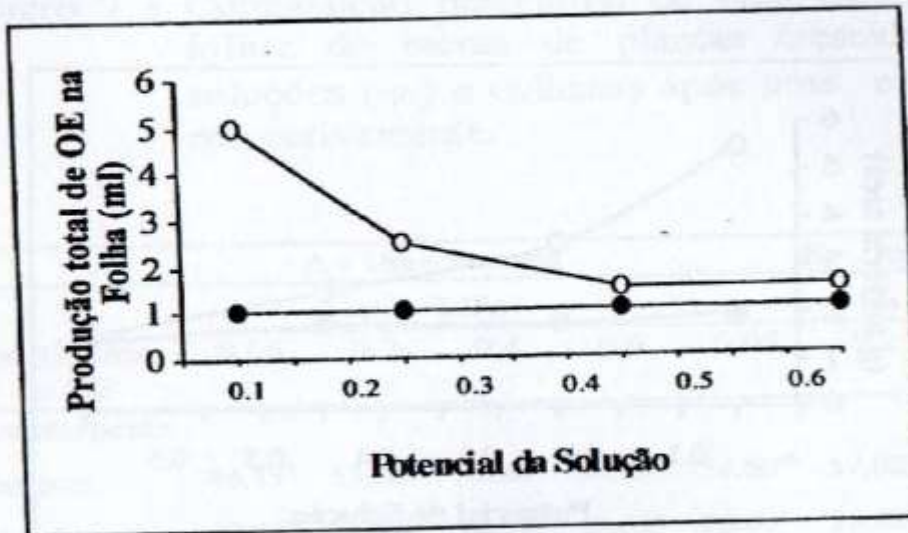
Na espécie *Mentha piperita*, as respostas de produção de óleo essencial também são função do nível e duração do estresse, como verificado por CHARLES et al. (1990). Após uma semana de estresse osmótico, não houve alteração na produção total de óleo pelas folhas, mas após duas semanas, a produção total de óleo foi significativamente reduzida conforme o aumento do estresse (Figura 5). Quanto à composição do óleo, os monoterpenos não tiveram variações significativas, mas a proporção relativa de sesquiterpenos aumentou com o estresse osmótico (Quadro 7).

CLARK & MENARY (1980), verificaram também na *Mentha piperita*, que altas produções de óleo estavam associadas a altos níveis de irrigação, porém a composição do óleo não foi significativamente alterada em função deste tratamento de irrigação.



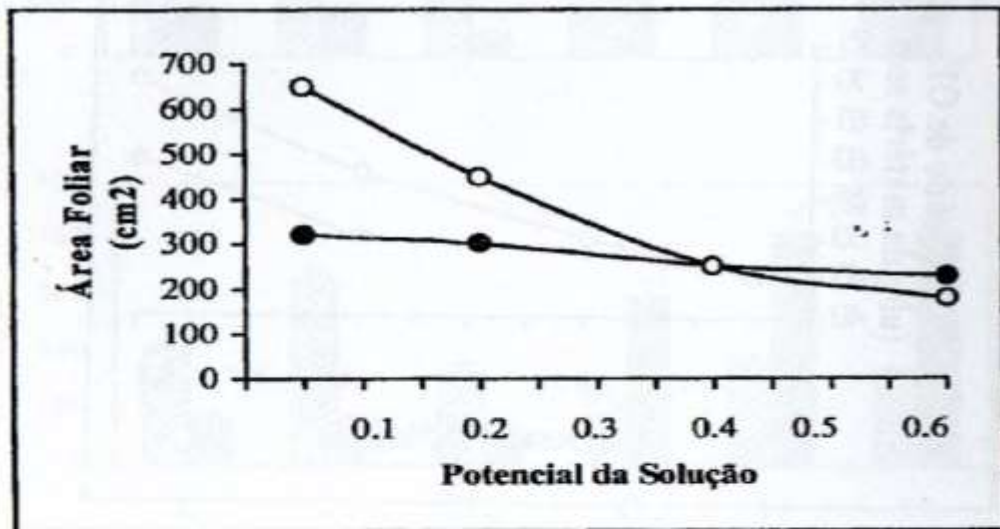
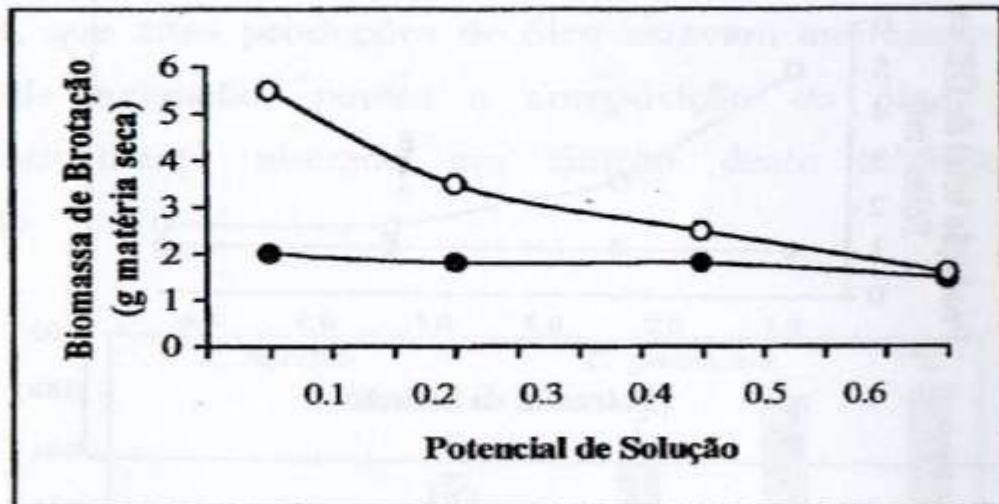
Adaptado de SANGWAN et al., 1994

Figura 4 - Alterações do conteúdo de geraniol e citral nas folhas de *Cymbopogon nardus* e *C. pendulus* submetidos a seca branda e moderada (a - 45 dias, b - 90 dias de crescimento) C - sem estresse, T1 - estresse brando, T2 estresse moderado. ▨ geraniol ■ citral.



Adaptado de CHARLES et al., 1990

Figura 5 - Efeito da solução no crescimento e acúmulo de óleo essencial (OE) nas folhas de menta após uma semana (●) e duas semanas (○).



Adaptado de CHARLES et al., 1990

Continuação da Figura 5.

Quadro 7 - Composição percentual de óleo essencial (OE) em folhas de menta de plantas crescidas em quatro soluções (ψ_s) e colhidos após uma e duas semanas, respectivamente.

Constituintes do OE	A - Uma Semana				B - Duas Semanas			
	ψ_s (- MPa)				ψ_s (- MPa)			
	0.05	0.2	0.4	0.6	0.05	0.2	0.4	0.6
Monoterpenos								
Mentone	46.15 ^b	55.60 ^a	57.85 ^a	56.25 ^a	54.50 ^{ab}	57.02 ^a	51.50 ^b	56.40 ^{ab}
Mentol	20.65 ^a	16.40 ^b	18.55 ^a	18.65 ^a	20.00 ^a	20.80 ^a	20.80 ^a	20.10 ^a
1,8-Cineolo	7.32 ^a	5.92 ^b	6.45 ^{ab}	6.90 ^{ab}	9.52 ^a	6.90 ^b	7.00 ^b	6.65 ^b
Pulegone	4.85 ^a	2.30 ^b	1.32 ^c	1.30 ^c	4.05 ^a	2.15 ^a	1.55 ^c	1.28 ^c
Terpine-4-ol	1.50 ^b	2.58 ^a	2.70 ^a	2.32 ^a	2.55 ^a	2.85 ^a	2.52 ^a	2.82 ^a
Mentofuran	1.12 ^c	4.85 ^a	3.18 ^b	2.10 ^{bc}	2.32 ^c	5.08 ^a	4.62 ^{ab}	3.98 ^b
β -Pinoeno	1.03 ^b	1.34 ^a	1.44 ^a	1.55 ^a	1.28 ^a	0.68 ^b	0.72 ^b	0.72 ^b
Mentil acetato	0.90 ^b	2.48 ^a	2.72 ^a	2.95 ^a	0.52 ^a	0.22 ^b	0.28 ^b	0.28 ^b
α -Pinoeno	0.25 ^b	0.23 ^b	0.26 ^b	0.47 ^a	0.94 ^b	2.92 ^a	3.25 ^a	3.02 ^a
Eugenol	0.11 ^a	0.11 ^a	0.12 ^a	0.11 ^a	0.11 ^a	0.12 ^a	0.12 ^a	0.11 ^a
Sabineno	0.11 ^{ab}	0.10 ^b	0.14 ^a	0.14 ^a	0.08 ^c	0.10 ^{bc}	0.12 ^{ab}	0.14 ^a
Piperitone	0.10 ^a	0.20 ^a	0.11 ^c	0.13 ^b	0.10 ^b	0.18 ^a	0.14 ^{ab}	0.14 ^a
Sesquiterpenos								
β -Cubebeno	3.52 ^a	2.40 ^b	2.20 ^b	2.98 ^a	4.28 ^a	2.60 ^b	2.15 ^b	2.32 ^b
β -Cariofileno	2.52 ^a	2.18 ^a	2.28 ^a	2.08 ^a	2.35 ^a	2.32 ^a	2.15 ^a	2.42 ^a
Outros	7.35 ^c	10.85 ^a	8.98 ^{bc}	10.45 ^{ab}	7.65 ^b	10.35 ^a	10.48 ^a	9.95 ^a

* Nas linhas as médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5%. Médias de 4 repetições.
Adaptado de CHARLES et al., 1990.

LETCAMO & GOSSELIN (1996), verificaram menor número de glândulas de óleo essencial e conseqüentemente menor conteúdo de óleo na espécie *Thymus vulgaris* quando crescida em condições de estresse hídrico. Estas plantas em compensação apresentam, nestas condições, maior deposição de cera na superfície foliar, atuando como barreira aos óleos voláteis.

Na espécie *Thymus capitatus*, o estresse hídrico induziu altas produções de óleo essencial e marcante declínio da fração fenólica. A irrigação aumentou a quantidade total de hidroxifenóis, particularmente de ácido clorogênico, gálico e cafeico (DELITALA et al., 1986).

Segundo ALCANTARA & NOGUEIRA (1992), o estresse hídrico reduz o teor de ácido ascórbico, a produção de matéria seca e a taxa de crescimento da vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.).

Segundo FRANZ (1983), a produção de flores e o conteúdo de óleo de *Matricaria camomila* aumentou com freqüentes aplicações, porém baixas, de doses de água (Quadro 8). Resultados semelhantes também foram obtidos em *Artemisia dracunculus* e *Pimpinella anisum* L., mas que receberam irrigação acima da capacidade de campo nas fases críticas do desenvolvimento (Quadros 9 e 10). No caso da *Atropa belladonna*, altas irrigações tiveram efeito positivo em todas as fases de desenvolvimento, sendo que o nível de alcalóides diminuiu com o desenvolvimento e não foi afetado pela irrigação (Quadros 11 e 12) (FRANZ, 1983).

Quadro 8 - Efeito da irrigação na produção de óleo essencial de *Matricaria chamomilla* L.

Irrigação	Produção de Flores (dt/ha)		Conteúdo de óleo essencial (%)
	Sulco largo	Sulco estreito	
Testemunha (0)	6.90	-15.64	1.08
Cada 2 dias (8mm)	10.70	22.94	1.15
Cada 4 dias (8mm)	9.15	19.42	1.07

Adaptado de FRANZ, 1983.

Quadro 9 - Efeito da irrigação na produção e óleo essencial de *Artemisia dracunculus*, em relação à testemunha.

Irrigação	Produção de Matéria	Óleo Essencial %
	Seca	
Testemunha (0)	100	100
Cada 2 dias (15mm)	97	104
Cada 4 dias (15 mm)	111	109
Fases Críticas **	146	140

** Nas fases (após brotação, formação de novos rebentos, formação de flores, após corte) a irrigação foi 75% de capacidade máxima do solo.
Adaptado de FRANZ, 1983.

Quadro 10 - Efeito da irrigação na produção e óleo essencial de *Pimpinella anisum* L., em relação à testemunha.

Irrigação	Produção de	Óleo Essencial	Anethol %
	Frutos	(%)	
Testemunha (0)	100	100	100
Cada 2 dias *	111	107	99
Cada 4 dias *	115	119	103
Fases Críticas **	150	127	105

* 15mm H₂O/irrigação

** Nas fases críticas (estádio de 2 folhas, brotação, início do florescimento) a irrigação foi 75% de capacidade máxima do solo.
Adaptado de FRANZ, 1983.

Quadro 11 - Efeito da irrigação na produção e conteúdo de alcalóides em *Atropa belladonna*.

Irrigação	Produção de matéria seca em dt/ha		Conteúdo de alcalóides %	
	Parte aérea	raiz	Parte aérea	raiz
Testemunha (0)	35.4	11.8	0.41	0.49
0.4 atm t.s	38.7	13.5	0.39	0.47
0.2 atm t.s	43.9	15.6	0.40	0.46

t.s. = tensão de sucção

Adaptado de FRANZ, 1983.

Quadro 12 - Efeito da irrigação no desenvolvimento ontogênico da produção e conteúdo de alcalóides de *Atropa belladonna* L.

Irrigação	Produção de matéria seca da droga em g/planta			Conteúdo de alcalóide em % d droga		
	a)	b)	c)	a)	b)	c)
Testemunha	2.2	19.6	21.5	0.59	0.41	0.41
0.4 atm s.t.	3.0	20.9	24.9	0.53	0.38	0.39
0.2 atm s.t	4.2	22.4	26.0	0.58	0.45	0.40

t.s. = tensão de sucção

a) início de florescimento

b) início de amadurecimento do fruto

c) frutos maduros

Adaptado de FRANZ, 1983.

f) Nutrição

Dentre os fatores de estresse que podem interferir na composição química de uma planta, a nutrição é um fator que merece destaque (MARTINS et al., 1994). Devido a resultados

contraditórios obtidos, são completamente divergentes as opiniões a respeito da influência de fertilizantes no metabolismo secundário (FRANZ, 1983).

Segundo BALBAA (1983), as plantas medicinais diferem quanto às exigências de nutrientes que influem na produção de princípios ativos em termos quantitativos e qualitativos.

WHO/IUCN/WWF (1988), salienta ainda que além destas diferenças de produção, um aspecto importante a ser considerado são os custos somados quando se utiliza a fertilização, que em alguns casos não é necessária e causa até o declínio da produção, além dos cuidados no caso do uso de adubos químicos, que podem ser um fator poluente para o ambiente e também para a população.

A adubação orgânica tem sido recomendada preferencialmente para plantas medicinais, pois em muitos casos oferece às plantas os nutrientes necessários e estruturação física do solo suficientes para boa produtividade em termos de biomassa e qualidade fitoquímica, além de que sendo usada de forma equilibrada oferece menos riscos ao ambiente e às pessoas que consumirão tais plantas.

A adubação mineral deve ser evitada, devendo ser recomendada somente nos casos de correção de deficiências graves do solo que possam comprometer o desenvolvimento das plantas (MARTINS et al., 1994).

DIAS & CAMARGO (1996), observaram na espécie *Baccharis trimera* que o uso de adubo mineral (4-14-8) e adubo orgânico

(esterco de gado) não afetaram significativamente o rendimento do óleo essencial, enquanto as variáveis altura e peso fresco foram incrementadas conforme o aumento da dose de adubo orgânico.

MING (1992), utilizou adubo orgânico (esterco de gado misturado com silagem) no cultivo de *Lippia alba* verificando que com doses crescentes do adubo obteve aumento significativo de biomassa e decréscimo significativo no teor de óleo essencial.

MONTANARI JÚNIOR et al. (1992), observaram na espécie *Cordia verbenaceae* o aumento na produção de artemetina e hidroartemetina (antiinflamatórios) com o uso de N.P.K. mineral.

A deficiência de P e K no solo reduz a concentração de cumarinas em *Justicia pectoralis* (BARROS et al., 1992).

A espécie *Digitalis lanata* e *Digitalis purpurea* não tiveram variações em termos de produção de biomassa e teores de digitoxina e digoxina quando se utilizou adubação com N.P.K. em relação às plantas sem adubação (MAGALHÃES et al., 1994).

BOYLE & CRAKER (1991), verificando a influência de regimes de fertilização no crescimento e conteúdo do óleo essencial de *Rosmarinus officinalis* observaram efeito significativo das práticas de fertilização na altura e peso fresco de *rosmarinus* e grande efeito na produção de óleo essencial, onde as maiores produções de óleo foram obtidas nas plantas que receberam menor fertilização (Quadro 13).

Quadro 13 - Influência do substrato-meio e regimes de fertilização no crescimento e conteúdo de óleo essencial de *Rosmarinus officinalis*.

Tratamentos	Altura da Planta (cm)	Matéria Fresca (g)	Conteúdo de Óleo essencial (% ± desvio padrão)
ADUBAÇÃO			
A Semanal	39.0 a*	74.7 a	2.50 ± 0.08
A Semanal + B 4,5 g/vaso	37.1 a	70.1 a	2.36 ± 0.06
A Permanente	38.9 a	68.5 a	2.31 ± 0.04
A Permanente + B 4,5g/vaso	33.0 b	50.2 b	2.31 ± 0.13
B 9,0 g/vaso	35.6 ab	73.1 a	2.24 ± 0.09
SUBSTRATO			
Composto (c) + Perlite (P)	38.2 a	71.5 a	2.27 ± 0.07
C+ P+ SOLO	35.5 b	63.6 a	2.41 ± 0.03
SIGNIFICÂNCIA			
Adubação	**	**	----
Substrato	*	ns	----
A X S	ns	ns	----

As médias seguidas da mesma letra na coluna não difere pelo teste Duncan a 5%
 A - Adubação (20 N; 4,3P; 16,7 K) Líquida 150 mg N/Litro
 B - Adubação com controle de aplicação (12N; 5,2P; 12,5k) no início do experimento

* - significativo a 5%

** - significativo a 1%

ns - não significativo

Adaptado de BOYLE & CRAKER, 1991

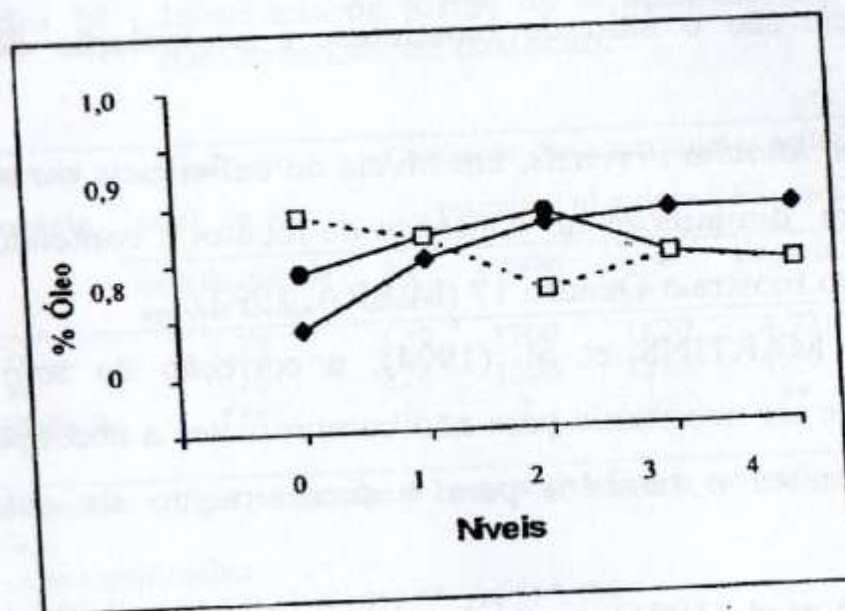
Quanto a aplicação de nitrogênio as respostas obtidas são bastante controvertidas. Segundo MARTINS et al. (1994), se nitrogênio encontra-se em déficit provoca em papoula (*Papaver somniferum*) e beladona (*Atropa belladonna*) aumento na concentração de alcalóides, enquanto na lobélia (*Lobelia inflata*) há redução. Porém, MAGALHÃES (1997) verificou que aumento na dose de NPK aumenta a produtividade de folhas secas por hectare sem alterar os teores de escopolamina em *Atropa belladonna*.

MAGALHÃES et al. (1992), verificaram que a espécie *Catharanthus roseus* respondeu favoravelmente à adubação nitrogenada.

FRANZ (1983) observou aumento no teor de óleo essencial de camomila com a aplicação de nitrogênio e fósforo e diminuição com a aplicação de potássio (Figura 6). A quantidade de bisaboloides e bisaboloxide B cresceu com nitrogênio e decresceu com a aplicação de potássio.

Em *Mentha piperita* L. crescentes aplicações de nitrogênio, promovem aumentos significativos em termos de biomassa e teor de óleo essencial (CLARK & MENARY, 1980).

ADLER et al. (1989), verificaram que a forma de aplicação do nitrogênio (NO_3^- ou NH_4^+) altera o conteúdo e composição do óleo essencial de *Ocimum basilicum* (Quadros 14 e 15).



□ _ K ● _ N ◆ _ P

Adaptado de FRANZ, 1983

Figura 6 - Conteúdo de óleo essencial em flores de camomila em função de níveis de N,P, K (%).

Segundo BALBAA (1983), os micro-elementos devem ser aplicados quando a planta apresentar sintomas de deficiência específicos.

SRIVASTAVA & LUTHRA (1994), verificaram que a espécie *Mentha piperita* quando crescida em condições de deficiência de manganês teve significativo declínio na acumulação de óleo o que pode ser justificado pela redução da capacidade fotossintética e declínio da área foliar nestas condições, uma vez que as folhas

desta espécie são o sítio de biossíntese e acumulação de óleo (Quadro 16).

A espécie *Mentha arvensis*, em níveis de deficiência ou tóxicos de zinco têm diminuição no conteúdo de mentol e conteúdo total de óleo como mostra o Quadro 17 (MISRA, 1992).

Segundo MARTINS et al. (1994), a correção do solo com calcário pode ser necessária para não comprometer a absorção dos outros nutrientes e também para o fornecimento de cálcio e magnésio.

PEREIRA et al. (1996), variando os teores de calcário aplicados em *Eclipta alba* e observando algumas variáveis como altura, número de brotos, comprimento da raiz dentre outros, não obtiveram diferenças significativas entre os resultados com exceção do comprimento da raiz que foi maior conforme aumentava-se a dosagem do calcário aplicado.

A composição do solo também deve ser considerada principalmente ao se cultivar plantas cujo princípio ativo de interesse se encontre nas raízes. MAGALHÃES & PEREIRA (1996), cultivando a *Pfaffia paniculata* em diferentes composições de solo observaram que nos solos mais argilosos, de melhor fertilidade, a produção de raízes foi maior embora essas fossem mais finas e de mais difícil limpeza que nos solos arenosos.

Quadro 14 - Influência da forma de N aplicado, no conteúdo de óleo essencial de basilicão.

Forma do Nitrogênio	Conteúdo total de óleo (μ l g de matéria seca de folha)	Conteúdo dos constituintes principais do óleo essencial nl.g de matéria seca de folha				
		1,8 Cineol	Linalol	Metil chavicol	Eugenol	Sesquiterpenos
NO ₃ N	4.38	3.38	1700	1820	4,73	202
NH ₄ N	3.14	224	1300	1280	1.57	273
Significância	***	ns	*	ns	**	ns

Para converter μ l g a percentagem basta multiplicar o conteúdo de óleo essencial por 0,1.

ns - não significativo

* significativo no teste F a 10% ** 5% *** 1%

Adaptado de ALDER et al., 1989.

Quadro 15 - Influência da forma de N aplicado, nos constituintes principais de basilicão. Composição do óleo essencial (% do Total).

Fonte do Nitrogênio	Composição do óleo essencial (% total)				
	1,8 Cineol	Linalol	Metil chavicol	Eugenol	Sesquiterpenos
NO ₃ N	7.73	38.7	41.6	0.11	4.61
NH ₄ N	7.05	41.0	41.2	0.05	8.66
Significância	ns	ns	ns	ns	*

Os dados foram transformados em Arcoseno da raiz quadrada para fins de análise. Médias reais.

ns - não significativo

* - significativo pelo teste F a 10%.

Adaptado de ALDER et al., 1989.

Quadro 16 - Crescimento, óleo essencial de hortelã em condições de deficiência de manganês.

Variáveis	Médias	
	Deficiência	Testemunha
Taxa de Troca de CO ₂ (mg CO ₂ /dm/h)	4.07 **	15.30
Clorofila total (mg/g de matéria fresca)	1.05 **	2.12
Clorofila a	0.75	1.34
Clorofila b	0.32	0.74
Razão a/b	2.36 **	1.89
Razão de área foliar (cm ² /g)	222.3 *	159.35
Razão folha caule	0.61 **	0.39
Conteúdo de óleo (Volume/peso, em % de matéria fresca)	0.17	0.19
Rendimento de óleo (g/planta, peso/ seco)	0.53	1.27

** , * significativo a 1% e 5% respectivamente.

Adaptado de SRIVASTAVA & LUTHRA, 1994.

Quadro 17 - Efeito da concentração de zinco na % de óleo e nos constituintes do óleo de *Mentha arvensis* L. crescida em casa de vegetação.

Zn (g m ⁻³)	Óleo (%)	% do Conteúdo Total de Óleo			
		Mentona	Iso-mentona	Metil-acetato	Mentol
0.0	0.41 ^a	1.24 ^a	0.01 ^a	3.14 ^a	84.69 ^a
0.0005	0.42 ^a	1.75 ^a	0.92 ^b	3.95 ^a	88.28 ^b
0.005	0.46 ^b	0.83 ^b	0.93 ^b	2.41 ^b	92.45 ^c
0.05	0.56 ^c	0.01 ^c	0.53 ^c	0.57 ^c	98.77 ^d
0.5	0.46 ^b	0.43 ^d	0.58 ^c	2.54 ^b	93.47 ^d
5.0	0.63 ^d	0.39 ^d	0.67 ^d	1.92 ^d	93.33 ^c
10.0	0.58 ^c	0.27 ^{ab}	0.68 ^d	1.71 ^d	92.28 ^c

Em cada coluna as médias seguidas da mesma letra não são significativas estatisticamente pelo teste Duncan 5%.

Adaptado de MISRA, 1992.

g) Manejo da cultura

Além da irrigação, adubação, luminosidade outras práticas possíveis de manejo devem ser observadas nesta busca de melhor adaptação do local para desenvolvimento e qualidade fitoquímica das espécies medicinais.

A poda é uma prática que permite a limpeza da planta, bem como permite uma maior penetração dos raios solares, reduzindo condições de umidade o que pode ser favorável para algumas espécies. MONTANARI JÚNIOR et al. (1992), recomendam a poda periférica, dentre outras práticas, para a erva baleeira (*Cordia verbenaceae*) onde esta contribui positivamente nos teores de artemetina e hidroxiartemetina.

No plantio das espécies também deve ser verificado o espaçamento entre plantas, que pode favorecer ou não a produtividade em termos de biomassa e também princípios ativos. Acredita-se que exista um espaçamento ótimo para cada espécie. Segundo GARCIA & ALFONSO (1996), os melhores rendimentos em grãos e maior número de capítulos/planta de cardo-mariano (*Silybum marianum* L.) foram obtidos no espaçamento de 70cm entre fileiras e densidade de 125000 plantas/ha.

A espécie *Mentha x villosa* tem aumento na produção de matéria seca e óleo à medida que se aumenta o arranjo espacial entre as

plantas, sendo o espaçamento de 0,60 x 0,35m o mais indicado (MATTOS et al., 1996).

A porcentagem de curcumina em rizomas de *Curcuma longa* L. não apresentou variações em função do espaçamento conforme verificado por CECÍLIO FILHO et al., 1996.

Outras práticas como uso de cobertura morta, tutoramento, consórcios, também devem ser verificadas para condução do cultivo das espécies medicinais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescente uso das espécies com propósito medicinal pela população e indústria, depara-se com dois problemas também crescentes: a ameaça dos ambientes naturais de ocorrência colocando-se em risco o patrimônio genético e, a não previsibilidade fitoquímica e duvidosas identificações do material vegetal utilizado. Os compostos químicos ou grupos de compostos químicos que constituem os princípios biologicamente ativos das plantas são em geral produtos ou subprodutos do metabolismo secundário das plantas que os produzem e constituem respostas dos metabolismos de integração da planta com seu ambiente.

Diante destas situações, muitos pesquisadores, instituições ambientalistas e outros afins vêm enfatizando a necessidade de cultivo das espécies medicinais de forma equilibrada levando-se em

consideração todos os fatores genéticos, ecológicos e fisiológicos envolvidos na obtenção e manutenção da qualidade. Em se tratando de plantas medicinais há grande necessidade de se primar pela qualidade, uma vez que as quantidades de compostos ativos presentes nestas são relativamente pequenas, além de que o material a ser utilizado como medicamento deve ser isento de resíduos e ter boas condições sanitárias.

Quanto ao fator genético, a variabilidade genética de cada espécie expressa variações nas suas características de peso, forma, constituintes, sabor, aroma e outros. Esta variabilidade é decorrente de adaptações adquiridas ao longo do caminho evolutivo trilhado pela natureza. O metabolismo secundário é uma adaptação alcançada por certas espécies neste caminho evolutivo uma vez que os produtos deste metabolismo muitas vezes conferem proteção ao vegetal às pressões de predadores e doenças, e em outros casos garante a sua perpetuação.

Possuir determinada base genética portanto não implica na manifestação definida de características, uma vez que a manifestação dos genes é dependente do ambiente, ou seja o fenótipo apresentado é resultante do genótipo + ambiente.

É possível estimular a superprodução de substâncias defensivas (eventualmente também medicinais), freqüentemente ausentes em plantas não agredidas, por meio de pressões de inimigos que ativam bancos inteiros de genes biossintéticos.

As condições climáticas do ambiente como temperatura, luz, umidade, que são também definidas pela altitude e latitude local, podem portanto interferir na manifestação genética do vegetal, de maneira que este apresente diferenciações anatômicas, morfológicas, no desenvolvimento, na resistência a pragas e doenças, nos competidores e na constituição química, inclusive no teor e qualidade dos princípios ativos.

Todos esses fatores portanto são interrelacionados e devem ser avaliados em conjunto.

Quando o ser humano passa a interferir nos processos por meio da prática da agricultura, buscando maior quantidade e qualidade dos produtos, é imprescindível que seja observado na natureza como essas relações acontecem, bem como as condições ambientais do local de origem dessas espécies onde já estão adaptadas.

De modo geral, as espécies que apresentam maior resistência ou tolerância à falta de água têm sua origem em locais mais áridos. Plantas de origem nas altitudes preferem temperaturas mais amenas, enquanto plantas de origem tropical são de dias curtos e as de origem nas regiões temperadas de dias longos.

As exigências nutricionais também podem ser definidas verificando-se os locais de ocorrência natural da espécie.

Portanto no trabalho de cultivo e domesticação de espécies, deve-se considerar as características da espécie: suas exigências e

preferências ambientais, quais as plantas companheiras, e sua variabilidade quanto aos caracteres de interesse.

Assim, é necessário ajustar os cultivos aos locais e épocas ideais ao seu desenvolvimento e produções econômicas. Em países com tradição de cultivo de plantas medicinais, tem-se optado pelo conceito de buscar o zoneamento mais adequado por espécie.

Os problemas deparados com ameaça de extinção de plantas, falta de previsibilidade fitoquímica e ausência de programas de cultivo equilibrado, manejo e reposição de espécies são realmente lamentáveis. Há falta de interesse da população e do governo, faltam verbas para trabalhos com esta finalidade e falta o interesse por parte da comunidade científica.

Deve ser aumentado o interesse pela pesquisa nesta área, pois as pesquisas ainda se encontram muito dispersas e sem continuidade, muitas vezes avaliando uma variável ou duas, isoladas, chegando a conclusões limitadas. A falta de troca de informações entre os trabalhos de pesquisa e os agricultores também é um fator limitante para o avanço dos resultados.

Apesar de ser enfatizado que no cultivo de plantas medicinais deve-se priorizar as práticas de agricultura equilibrada (orgânica, natural, biodinâmica), minimizando o uso de insumos externos, persiste em algumas pessoas o sistema de agricultura quantitativa e consumista .

A busca de grande disponibilidade de material vegetal, grandes produções têm levado à práticas de cultivo em larga escala, o que muitas vezes tem sido feito de forma desequilibrada, esquecendo-se de princípios básicos como consorciamento, rotação de culturas, etc, o que pode levar a situações de necessidade de insumos não apropriados, criando-se novos problemas de ameaça ao ambiente, inclusive ao ser humano.

Parece também que não tem sido muito lembrado, principalmente no Brasil, as questões de escolha da espécie a ser cultivada em função do ambiente local, uma vez que o cultivo das espécies espontâneas e nativas praticamente é raro, dando-se preferência as espécies exóticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLER, P. R., SIMON, J. E., WILCOX, G. E. Nitrogen form alters sweet basil growth and essential oil content and composition. **HortScience**, v. 24, n. 5, p. 789-790, 1989.
- ALCÂNTARA, M. F. A., NOGUEIRA, R. J. M. C. Comportamento fisiológico da vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* L.) em decrescentes níveis de umidade. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 12, 1992, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: UFPR, 1992. 201 p.
- AZEVEDO, A.S., SATO, E., GOMES, J. M., PIMENTA, D. S. Tratos culturais e sazonalidade na anatomia e produção de princípios ativos em *Centella erecta* L. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 14, 1996, Florianópolis, SC. **Resumos...** Florianópolis, SC: UFSC, 1996, p. 31.
- BALBAA, S. I. Satisfying the requirements of medicinal plant cultivation. **Acta Horticulturae**, v. 132, p. 75-84, 1983.
- BARROS, R. F. M., ANDRADE, L. H. C., SILVA, N. H. Efeito da radiação solar e disponibilidade de nutrientes sobre a produção de cumarinas em *Justicia pectoralis* Jacq. Var. *stenophylla*. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 12, 1992, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: UFPR, 1992. p. 220.

- BOYLE, T.H., CRAKER, L. E. Growing medium and fertilization regime influence growth and essential oil content of rosemary. *HortScience*, v. 26, n. 1, p. 33-34, 1991.
- BROWN JÚNIOR, K. S. Engenharia ecológica : novas perspectivas de seleção e manejo de plantas medicinais. *Acta Amazônica*, v. 18, n. 1-2, p. 291-303, 1988.
- CABO, J., CRESPO, M. E., JIMÉNEZ, J., NAVARRO, C. A study of the essences from *Thymus hyemalis* collected in three different localities. *Fitoterapia*, v. 57, n. 2, p. 117-119, 1986.
- CASTELLANI, D. C. Crescimento, anatomia e produção de ácido erúico em *Tropaeolum majus* L. Viçosa, MG: UFV, 1997. 108 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- CECÍLIO FILHO, A. B., SOUZA, R. J., MENDES, A. N. G. Efeito da época e densidade de plantio na qualidade dos rizomas de cúrcuma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 36, 1996, Rio de Janeiro, RJ. Resumos... Rio de Janeiro, RJ: SOB, 1996. p. 81.
- CHARLES, D. J., JOLY, R. J., SIMON, J. E. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*, v. 29, n. 9, p. 2837-2840, 1990.

- CLARK, R. J., MENARY, R. C. The effect of irrigation and nitrogen on the yield and composition of peppermint oil (*Mentha piperita* L.). *Aust. J. Agric. Res.*, v. 31, p. 489-498, 1980.
- CORREA JÚNIOR, C., MING, L. C., SCHEFFER, M. C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas.** Curitiba, PR: EMATER, 1991. 162 p.
- DELITALA, L. F., GESSA, C., SOLINAS, V. Stress idrico e flessibilità del metabolismo fenolico in *Thymus capitatus*. *Fitoterapia*, v. 57, n. 6, p. 401-408, 1986.
- DIAS, M. C. CAMARGO, R. Estudos da adubação e propagação de carqueja. In: WORKSHOP DE PLANTAS MEDICINAIS DE BOTUCATU, 2, 1996, Botucatu, SP *Anais...* Botucatu, SP: UNESPE, 1996. p. 69.
- FRANZ, C. Nutrient and water management of medital and aromatic plants. *Acta Horticulturae*, v. 132, p. 203-215, 1983.
- GARCIA, M. A. , ALFONSO, W. Efecto de la distancia entre hileras y la densidad poblacional sobre el rendimento, el número de capítulos por planta y el peso de losgranos en el cultivo de cardo-mariano (*Silybum marianum* L.). In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 14, 1996, Florianópolis, SC *Resumos...* Florianópolis, SC: UFSC, 1996. p. 34.

- GONNET, J. F. Phytosociological and geographical variation of flavonoid glycosides in *Chaerophyllum aureum*. **Phytochemistry**, v. 22, n. 6, p. 1421-1423, 1983.
- GOTTELIB, O. R. Evolução química vegetal. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 4, p. 357-360, 1987.
- JOHANSSON, A. K., KUUSISTO, P. H., LAAKSO, P. H., DEROME, K. K., SEPPONEN, P. J., KATAJISTO, J. K., KALLIO, H. P. Geographical variations in seed oils from *Rubus chamaemorus* and *Empetrum nigrum*. **Phytochemistry**, v. 44, n. 8, p. 1421-1427, 1997.
- KAMADA, T. Plasticidade fenotípica da morfologia e do óleo essencial em acessos de manjeriço (*Ocimum ssp*). Viçosa, MG: UFV, 1998. 59 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- KAMADA, T.; CASALI, V.W.D., BARBOSA, L.C.A.; FORTES, I.C.P.; FINGER, F.L. Plasticidade fenotípica do óleo essencial em acessos de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Rev. Bras. de Plantas Mediciniais**, v.1, n.2, p.13-22, 1999.
- KITE, G. C. , SMITH, S. A. L. Inflorescence odour of *Senecio articulatus*: temporal variation in isovaleric acid levels. **Phytochemistry**, v. 45, n. 6, p. 1135-1138, 1997.

- LETCAMO, W. , GOSSELIN, A. Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thimus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. **Journal of Horticultural Science**, v. 71, n. 1, p. 123-134, 1996.
- MAGALHÃES, P. M., ARCHANGELO JÚNIOR, L. E. M. R., BOSSHARD, R., SHARAPIN, N. Influência da adubação NPK nos rendimentos de biomassa e de glicosídeos cardiotônicos em *Digitalis lanata* L. e *Digitalis purpurea* L. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 13, 1994, Fortaleza, CE. **Resumos...** Fortaleza, CE: UFCE, 1994. p.42.
- MAGALHÃES, P. M., FIGUEIRA, G. M., ARCHANGELO, I. , MONTANARI JÚNIOR, I. Fertilização NPK em cultivo de *Vinca rosea*, L. I. efeitos sobre a biomassa vegetal. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba, SP. **Resumos...** Piracicaba, SP: ESALQ, 1992. p. 278-279.
- MAGALHÃES, P. M. **O caminho medicinal das plantas: aspectos sobre o cultivo.** Campinas, SP: UNICAMP, 1997. 119p.
- MAGALHÃES, P., PEREIRA, B. Observações do desenvolvimento de *Pfaffia paniculata* em três composições de solo. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 14, 1996, Florianópolis, SC. **Resumos...** Florianópolis, SC: UFSC, 1996. p.33.

- MARTINS, E. R., CASTRO, D. M. de, CASTELLANI, D. C., DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa, MG: UFV, 1994, 220 p.
- MATTOS, S. H., NASCIMENTO, M. M., CHAVES, F. C. M., FREITAS, J. B. S., MATOS, F. J. A., INNECO, R. Espaçamento em hortelã-rasteira (*Mentha x villosa*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 36, 1996, Rio de Janeiro, RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro, RJ: SOB, 1996. p. 98.
- MASSOUD, H. Study on the essential oil in seeds of some fennel cultivars under egyptian environmental conditions. **Planta Médica**, v. 58, p. 681-682, 1992. Suplemento.
- MING, L. C. Cultivo de plantas medicinais: influência da adubação orgânica na produção de biomassa e teores de óleos essenciais em *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. Verbenaceae. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 12, 1992, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, PR: UFPR, 1992. p. 210.
- MING, L. C. Estudo e pesquisa de plantas medicinais na agronomia. **Horticultura Brasileira**, v. 12, p. 3-9, 1994.
- MIRALDI, E. , FERRI, S. *Peumus boldus* essential oil: new constituents and comparison of oils from leaves of different origin. **Fitoterapia**, v. 67, n. 3, p. 227-231, 1996.

MISRA, A. Effect of zinc stress in japanese mint as related to growth, photosynthesis, chlorophyll contents and secondary plant products – the monoterpenes. *Photosynthetica*, v. 26, n. 2, p. 225-234, 1992.

MONTANARI JÚNIOR, I., MAGALHÃES, P. M., FIGUEIRA, G. M., FOGLIO, M. A., RODRIGUES, R. A. F., HOPPEN, V. R., SHARAPIN, N. Aspectos agronômicos e fitoquímicos do cultivo de erva baleeira. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 12, 1992, Curitiba, PR. *Anais...* Curitiba, PR: UFPR, 1992. p.180.

NAVARRO, C. ZARZUELO, A., JIMENEZ, J., DUARTE, J. Composition and pharmacological activity of the essential oil of *Satureja obovata* collected in four different localities. *Fitoterapia*, v. 60, n. 3, p. 277-281, 1989.

OLIVEIRA, J. E. Z. Variabilidade isozimática e do teor de óleo essencial em acessos de *Bidens pilosa* L. Viçosa, MG: UFV, 1997. 72 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

PEIPP, H., MAIER, W., SCHMIDT, J., WRAY, V., STRACK, D. Arbuscular mycorrhizal fungus – induced changes in the accumulation of secondary compounds in barley roots. *Phytochemistry*, v. 44, n. 4, p. 581-587, 1997.

PEREIRA, A. M. S., MENEZES JÚNIOR, A., BERTON, B. W., PEREIRA, P. S., FRANÇA, S. C. Efeito da calagem na produção de *Eclipta alba*. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 14, 1996, Florianópolis, SC. **Resumos...** Florianópolis, SC: UFSC, 1996. p. 33.

PIRES, M. J. P., GRIPP, A. Conservação de recursos genéticos de plantas medicinais em banco ativo de germoplasma. *Acta Amazônica*, v. 18, n. 1-2, p. 61-73, 1988. Suplemento.

PRATES, H. R., BUTLER, L., RASLAN, D. S., ALVES, R. B., SCHAFFERT, R., SANTOS, F. G., RODRIGUES, J. A. S. Dhurrin em sorgo sem tanino, resistente a pássaro: isolamento, caracterização e quantificação. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL 14, 1996, Florianópolis, SC. **Resumos...** Florianópolis, SC: UFSC, 1996. p. 33.

REHDER, V. L. G., SARTORATTO, A., MAGALHÃES, P. M., FIGUEIRA, G. M., MONTANARI JÚNIOR, LOURENÇO, C. Variação fenológica do teor de cumarina em *Mikania laevigata*. In: WORKSHOP DE PLANTAS MEDICINAIS DE BOTUCATU, 3, 1998, Botucatu, SP. **Resumos...** Botucatu, SP: UNESP, 1998. p. 26.

SACO, M. D., BELMONTE, F. L. Influence of climatic conditions on the *Papaver bracteatum* therbaine content. *Fitoterapia*, v. 59, n. 6, p. 488-493, 1988.

SANGWAN, N. S., FAROOQI, A. H. A., SANGWAN, R. S. Effect of drought stress on growth and essential oil metabolism in lemongrasses. *New phytol.*, v. 128, p. 173-179, 1994.

SEILER, G. J. Oil concentration and fatty acid composition of achenes of North American *Helianthus* (Asteraceae) species. **Economic Botany**, v. 48, n. 3, p. 271-279, 1994.

SMITH, R. M., ROBINSON, J. M. The essential oil ginger from Fiji. **Phytochemistry**, v. 20, p. 203-206, 1981.

SOARES, I. A. A., OLIVEIRA, A. B., BRANDÃO, M., PAIVA, R. L. R. Avaliação química de três espécies de *Senna* (Cassia). In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 13, 1994, Fortaleza, CE. **Resumos...** Fortaleza, CE: UFCE, 1994. p. 32.

SRIVASTAVA, N. K., LUTHRA, R. Relationship between photosynthetic carbon metabolism and essential oil biogenesis in peppermint under Mn- stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. 277, p. 1127-1132, 1994.

TAKEO, T. Variation in amounts of linalol and geraniol produced in tea shoots by mechanical injury. **Phytochemistry**, v. 20, n. 9, p. 2149-2151, 1981.

TÉTÉNY, P. Biological preconditions of aromatic and medicinal plant cultivation. **Acta Horticulturae**, v. 132, p. 15-22, 1983.

TOFFOLI, M. E., POSSER, G. L., HENRIQUES, A. T., RECH, S., MENUT, C. Composição química do óleo volátil de *Hesperozygis ringens* e *Hesperozygis rhododon*. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 13, 1994, Fortaleza, CE. Resumos... Fortaleza, CE: UFCE, 1994. p. 30.

VOIRIN, B., LEBRETON, P. Influence de la temperature sur le metabolisme des flavonoides chez *Asplenium trichomanes*. *Phytochemistry*, v. 11, p. 3435-3439, 1972.

WHO/IUCN/WWF. The conservation of medicinal plants. In: INTERNATIONAL CONSULTATION ON CONSERVATION OF MEDICINAL PLANTS. *Fitoterapia*, v. 59, n. 5, p. 365-370, 1988.

WYK, B. E., OUDSHOORN, M. C. B. R., SMITH, G. F. Geographical variation in the major compounds of *Aloe ferox* leaf exudate. *Planta Médica*, v. 61, p. 250-253, 1995.

ZANGERL, A.R.; GREEN, E.S.; LAMPMAN, R.L.; BERENBAUM, M.R. Phenological changes in primary and secondary chemistry of reproductive parts in wild parsnip. *Phytochemistry*, v.44, n.5, p.825-831, 1997.

INTRODUÇÃO

COLHEITA

CAPÍTULO 2



INTRODUÇÃO

É notável o crescimento da pesquisa em plantas medicinais. Várias vertentes vêm contribuindo para tais interesses: uma parcela significativa da população mundial faz uso de plantas medicinais para atender suas necessidades de cuidados primários em saúde; as plantas medicinais representam uma fonte importante de matéria prima e de novas substâncias para a indústria farmacêutica e alimentícia; com o acelerado processo de devastação dos recursos naturais, também as plantas medicinais estão ameaçadas de extinção.

Entre os principais grupos de princípios ativos ou de constituintes obtidos a partir de plantas, incluem-se os alcalóides, os glicosídeos, os óleos essenciais, os princípios amargos, os açúcares, os óleos fixos e os ácidos orgânicos.

Os compostos químicos ou grupos de compostos que constituem os princípios biologicamente ativos das drogas são, em geral, produtos ou subprodutos do metabolismo secundário das plantas e constituem respostas dos mecanismos de integração da planta com o ambiente.

Entre os fatores que influem na elaboração de princípios ativos estão os fatores genéticos que dependem da base genética da espécie; fatores ambientais, como temperatura, luz, água, solo,

altitude, latitude dentre outros; e fatores técnicos, como época e forma de colheita, transporte, secagem e armazenamento.

Conhecendo esses fatores é importante mantê-los equilibrados, manejando o ambiente para a planta transmutar sua energia e matéria em síntese de substâncias importantes para ela, no ambiente (mesmo se mantido artificialmente) e, ultimamente para utilização pelo ser humano.

O crescente aumento na demanda do uso dessas plantas medicinais torna evidente a necessidade de cultivá-las, mas com a visão mais abrangente daquela dos cultivos tradicionais onde se leva em consideração apenas a produtividade em kg/ha. Os cultivos devem buscar maior equilíbrio entre produtividade e qualidade e o manejo adequado dos fatores que possam interferir nesta qualidade.

Os fatores técnicos podem ser considerados decisórios na garantia da qualidade final, ou seja, todo esforço despendido no cultivo das plantas pode ser posto a perder quando não se dá a devida atenção às etapas de colheita, beneficiamento e armazenagem. O manejo adequado desses fatores em cada condição em particular contribui com ganhos de qualidade, minimiza perdas da qualidade alcançada, além de contribuir com a preservação da qualidade.

COLHEITA

As espécies medicinais, no que se referem à produção de substâncias com atividade terapêutica, apresentam alta variabilidade. O ponto de colheita varia de acordo com o órgão da planta, estágio de desenvolvimento, a época do ano e a hora do dia. A distribuição das substâncias ativas numa planta pode ser bastante irregular. Alguns grupos de substâncias localizam-se preferencialmente em partes específicas ocorrendo variações na concentração de compostos segundo ritmos estacionais ou circadianos.

TARNAI et al. (1994) verificaram variações no teor de polifenóis em diferentes tecidos da espécie *Prunus avium* (Quadro 1). Variações do conteúdo fenólico em diferentes partes de *Taraxacum officinale* foram observados por WILLIANS et al., 1996 (Quadro 2).

Segundo VILA et al. (1997), a espécie *Aristolochia elegans* possui 58 constituintes em seu óleo, sendo que 80% desses estão presentes nas folhas e talos e o restante presente na raiz. Dois cultivares de *Chrysanthemum parthenium*, Aureum e Schneeball têm a presença de esteróis em todos os órgãos mas apresentando diferentes teores (WHKOMIRSKI & DUBIELECKA, 1996).

Quadro 1 - Distribuição de polifenóis em partes de *Prunus avium*.

	Material de Origem (g)	Formação Oligomérica (mg %)	Derivado Peracetil (mg)	Fração Polimérica (mg %)	Derivado Peracetil Thiobenzil (mg)
Casca	31.80	400 (1.3)	520	370 (1.2)	930
Floema	74.75	4.120 (5.5)	5.290	4.200 (5.6)	5.026
Xilema	30.00	540 (1.8)	610	290 (1.0)	760
Folhas	30.00	590 (2.0)	690	960 (3.2)	1.820
Caule	14.74	170 (1.2)	110	100 (0.7)	220
Frutos maduros	756.00	880 (0.1)	870	860 (0.05)	560
Frutos imaturos	740.00	760 (1.0)	740	—	—

Adaptado de TARNAI et al., 1994.

Quadro 2 - Comparação dos constituintes fenólicos em tecidos de *Taraxacum officinale*.

Composto	Tecido			
	Folha	Raiz	Flor	Brácteas
Lu 7-glicosídeo (1)	+	-	+	+
Lu 7-diglicosídeo (2)	+	-	+	+
Lu 7-diglicosídeo (3)	+	-	+	+
Luteolin livre (4)	-	-	++	-
Criocriol livre (5)	-	-	++	-
Ácido chicórico (6 + 7)	++	++	++	++
Ácido Monocafeiltartárico (8)	+	+	+	+
Ácido Clorogênico (10)	+	+	+	+
Cichorin	+	-	-	n.d.
Aesculin	+	-	-	n.d.

+ e ++ presença - ausência n.d. não determinado

Adaptado de WILLIANS et al., 1996.

O teor e a localização de princípios ativos também varia de acordo com o estágio de desenvolvimento (CORREA JÚNIOR et al., 1994), sendo este muito importante principalmente em plantas perenes e anuais de ciclo longo, em que a máxima concentração é atingida a partir de certa idade e/ou fase de desenvolvimento (MARTINS et al., 1994).

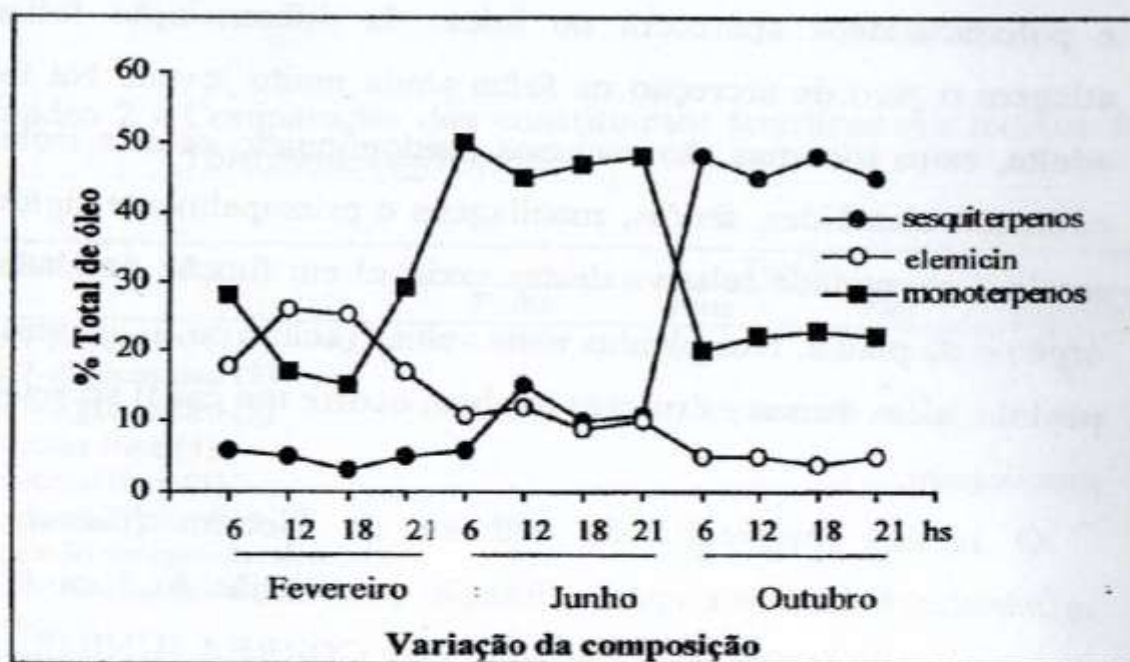
SILVA & MACHADO (1996), em estudo anatômico de pariparoba (*Piper regnellii*) verificaram variações no tipo de estruturas secretoras, bem como no conteúdo da secreção em função da idade foliar. Os tricomas secretores de lipídeos, proteínas e polissacarídeos aparecem no início da diferenciação foliar e atingem o pico de secreção na folha ainda muito jovem. Na folha adulta, estes tricomas são escassos predominando células isoladas contendo alcalóides, fenóis, mucilagens e principalmente lipídeos, sendo a quantidade relativa destes variável em função da idade do órgão e da planta. Nas plantas mais velhas (acima de 12 meses), no pecíolo, além dessas estruturas também ocorre um canal secretor de mucilagem.

O melhor momento de colheita do alecrim (*Rosmarinus officinalis*) é durante e após a floração por ocasião do 2º ou 3º ano após o plantio (VON HERTWING, 1986; CORREA JÚNIOR et al., 1994).

A concentração dos princípios ativos pode variar com o horário do dia. O melhor horário de colher é pela manhã bem cedo ou no

final da tarde. Já MARTINS et al. (1994) cita que os alcalóides e os óleos essenciais encontram-se com maior freqüência pela manhã, os glicosídeos à tarde.

Ocimum selloi Benth apresentou maior conteúdo de óleo essencial quando colhido às 7:00 horas da manhã (MARTINS, 1996). Segundo LOPES et al. (1997), na espécie *Virola surinamensis* o nível de monoterpenos alcançou seu pico às 6:00 horas e às 21:00, enquanto que o elemicin alcançou seu pico às 12:00 horas (Figura 1).



Adaptado de LOPES et al., 1997

Figura 1 - Variações de Composição do óleo essencial de *Virola surinamensis*.

LOPES et al.(1997), observou também na espécie *Virola surinamensis* que o nível de sesquiterpenos variou entre 5-15% nos meses de fevereiro e junho, sendo inferior aos conteúdos de monoterpenos e elemicin. O conteúdo de monoterpenos teve aumento de 50% em junho, revelando sua importância no início do florescimento, enquanto o conteúdo de sesquiterpenos aumentou em 50% durante a fase inicial de desenvolvimento do fruto no mês de outubro (Figura 1).

Segundo HASLER & MEIER (1993), o conteúdo de flavonóides e terpenos em *Ginkgo biloba* apresenta variações em intervalos quinzenais de colheita (Quadro 3).

Quadro 3 - Conteúdo (%) de flavonóides, acilflavonóides e terpenos, em épocas de colheita, de folhas de *Ginkgo biloba* provenientes de uma árvore de 15 anos de idade.

Época de Colheita	Conteúdo de Flavonóides após hidrólise				Conteúdo de acilflavonóides			Conteúdo de terpenos		
	I	K	Q	ΣA	KAc	QAc	ΣAcG	B	G	ΣT
21.09.92	0.134	0.402	0.409	0.95	0.0616	0.0555	0.117	0.159	0.284	0.443
5.10.92	0.167	0.492	0.514	1.17	0.0582	0.0535	0.112	0.172	0.338	0.510
19.10.92	0.173	0.488	0.532	1.19	0.0583	0.0526	0.111	0.175	0.295	0.470
2.11.92	0.197	0.506	0.529	1.23	0.0652	0.0620	0.127	0.181	0.298	0.479
17.11.92	0.212	0.537	0.599	1.35	0.0622	0.0549	0.117	0.177	0.301	0.478

Adaptado de HASLER & MEIER, 1993.

COURT et al. (1993), estudando épocas de colheita de *Mentha piperita* obtiveram resultados diferentes quanto à produção e conteúdo do óleo essencial. Maiores produções de biomassa e de óleo foram encontradas no final do mês de agosto e início de setembro. As concentrações de menthol, neomenthol e metil acetato aumentaram com o desenvolvimento da planta, enquanto que a mentona e a isomentona tiveram maiores concentrações em plantas imaturas e o menthofuran e pulegona estiveram mais presentes no florescimento. (Quadros 4 e 5).

Já na espécie *Mentha x villosa* (Quadros 6 e 7), na estação seca, a maior produção de óleo ocorre aos 88 dias após o transplântio das mudas, estando associado ao aumento das estruturas vegetativas da planta neste período com posterior decréscimo devido a senescência dessas estruturas. Na estação chuvosa estes picos de produção ocorreram aos 95 dias após o transplântio, possivelmente retardado devido as chuvas que causaram queda das folhas mais velhas (MATTOS et al., 1996).

Existem algumas recomendações gerais para determinação do ponto de colheita, as quais podem variar devido à características particulares da espécie. Sendo assim, se a parte colhida é casca e entre casca, o ponto de colheita será quando a planta estiver florida. Se são flores será no início da floração, se frutos e sementes será quando maduros, se raízes quando a planta estiver adulta; talos e folhas, antes do florescimento.

Quadro 4 - Efeitos da data de colheita no índice agrônômico, biomassa, produção e características físicas do óleo essencial de *Mentha piperita* L.

	Rendimento Kg/ha		Óleo Kg/ha	Gravidade Específica	Índice Retrativo
	Biomassa Fresca	Biomassa Seca			
1989					
4 Julho	4450	950	13.7	0.8941	1.4588
11 Julho	4510	1330	18.5	0.8938	1.4584
18 Julho	5090	1600	21.6	0.8941	1.4595
25 Julho	5650	1600	22.2	0.8934	1.4598
1 Agosto	6660	2060	29.0	0.8959	1.4600
8 Agosto	9880	2500	32.4	0.8970	1.4601
15 Agosto	11800	3140	45.7	0.8982	1.4598
22 Agosto	11090	3030	44.6	0.8977	1.4602
29 Agosto	14180	3930	53.9	0.8981	1.4611
5 Setembro	14510	4300	56.0	0.8993	1.4614
12 Setembro	12120	3603	54.6	0.8997	1.4618
19 Setembro	13480	4090	50.6	0.9016	1.4613
26 Setembro	11520	3500	45.5	0.9010	1.4615
3 Outubro	11550	3500	33.8	0.9013	1.4610
10 Outubro	10100	3530	35.3	0.9002	1.4604
17 Outubro	8970	2980	26.4	0.9017	1.4603
24 Outubro	7180	2610	21.9	0.9020	1.4599
SE	550	160	2.7	0.0008	0.0002
1990					
16 Julho	7220	1650	23.1	0.8960	1.4589
30 Julho	9700	2660	31.6	0.8953	1.4592
7 Agosto	7650	2250	33.2	0.8968	1.4585
14 Agosto	9880	2900	35.0	0.8953	1.4587
20 Agosto	10840	3130	39.2	0.8958	1.4595
27 Agosto	11700	3040	41.4	0.8981	1.4593
4 Setembro	12170	3810	51.0	0.8978	1.4592
10 Setembro	14920	4470	60.7	0.8998	1.4599
17 Setembro	11680	3660	46.1	0.9021	1.4604
24 Setembro	12720	4430	44.8	0.9009	1.4601
1 Outubro	11470	3850	38.7	0.8995	1.4591
SE	590	130	23	0.0009	0.0003

Continuação do Quadro 4.

	Rendimento Kg/ha		Óleo Kg/ha	Gravidade Específica	Índice Retrativo
	Biomassa Fresca	Biomassa Seca			
			1991		
25 Junho	4490	1280	21.8	0.8965	1.4597
9 Julho	8570	1760	40.4	0.8951	1.4603
16 Julho	8060	2400	40.8	0.8962	1.4597
23 Julho	6150	2090	35.4	0.8981	1.4607
30 Julho	8530	2520	42.9	0.8978	1.4605
6 Agosto	11400	3210	54.5	0.8987	1.4608
13 Agosto	10800	3160	53.6	0.8995	1.4614
20 Agosto	12500	3400	57.8	0.9012	1.4617
27 Agosto	11100	3370	57.2	0.9043	1.4622
3 Setembro	10700	3500	59.4	0.9035	1.4615
10 Setembro	10000	3290	55.9	0.9031	1.4618
20 Setembro	9280	3390	57.5	0.9040	1.4617
24 Setembro	9450	3450	58.5	0.9036	1.4615
4 Outubro	10200	2590	43.9	0.9088	1.4605
7 Outubro	7670	2740	46.5	0.9063	1.4612
SE	730	280	3.5	0.0005	0.0002

Adaptado de COURT et al., 1993.

Quadro 5 - Efeitos da data de colheita no conteúdo de monoterpenos do óleo essencial de *Mentha piperita* L.

Data da Amostra	Mentol	Neo-mentol	Metil acetato	Mentona	Isomentona	Terpineno -4-ol	α -terpineol	1.8-cineol
1989								
4 Jul.	31.8	3.23	1.86	32.70	3.68	1.40	0.30	5.59
11 Jul.	35.0	3.43	2.53	28.00	3.80	1.36	0.27	5.76
18 Jul.	37.5	3.67	3.28	22.50	3.61	1.30	0.26	6.12
25 Jul.	42.9	3.76	3.65	21.60	3.94	1.35	0.35	6.71
1 Ago.	42.1	3.40	3.49	23.20	3.84	1.12	0.31	6.21
8 Ago.	42.0	3.43	4.17	22.10	3.61	1.25	0.31	6.24
15 Ago.	39.4	3.10	3.63	25.90	3.45	1.21	0.28	5.98
22 Ago.	45.2	3.34	4.70	20.20	3.04	1.31	0.27	5.89
29 Ago.	46.2	3.28	5.45	14.60	2.57	1.04	0.24	4.97
5 Set.	50.1	3.59	6.14	10.90	2.40	1.12	0.22	5.73
12 Set.	54.1	3.84	7.21	9.21	2.21	1.11	0.23	5.82
19 Set.	57.0	4.14	7.99	6.45	1.88	1.11	0.23	5.88
26 Set.	53.6	3.83	9.32	6.14	1.69	1.03	0.18	5.32
3 Out.	53.1	3.94	9.94	4.55	1.54	1.10	0.17	5.80
10 Out.	51.6	3.83	13.23	3.17	1.26	1.11	0.16	5.46
17 Out.	55.3	4.12	13.42	2.84	1.28	1.10	0.15	4.87
24 Out.	53.8	4.17	14.26	2.31	1.11	1.03	0.14	4.47
SE	0.9	0.09	0.41	0.87	0.09	0.09	0.018	0.24
1990								
16 Jul.	37.0	3.31	1.77	36.80	4.16	0.97	0.37	7.04
30 Jul.	44.6	3.74	3.29	26.00	3.52	1.19	0.37	4.88
7 Ago.	46.3	4.23	4.11	20.00	3.42	1.34	0.35	6.81
14 Ago.	47.5	4.30	4.55	16.40	3.10	1.10	0.31	6.71
20 Ago.	48.0	4.43	5.22	15.60	2.82	1.25	0.33	6.56
27 Ago.	44.0	4.00	5.27	15.50	2.64	1.02	0.31	6.51
4 Set.	46.3	3.41	5.75	12.30	2.17	1.07	0.27	5.85
10 Set.	51.8	4.32	6.39	11.20	2.22	1.05	0.31	6.86
17 Set.	49.6	4.30	7.99	7.52	1.78	1.05	0.30	6.47
24 Set.	52.0	4.30	9.00	5.71	1.51	1.00	0.25	5.76
1 Out.	54.7	4.46	9.41	4.55	1.51	1.19	0.27	6.34
SE	1.3	0.18	0.38	0.66	0.08	0.05	0.03	0.36

Continuação do Quadro 5.

Data da Amostra	Mentol	Neo-mentol	Metil acetato	Mentona	Isomentona	Terpineno -4-ol	α -terpineol	1.8-cineol
1991								
25 Jun.	29.7	3.35	3.61	32.90	4.15	0.58	0.17	4.45
9 Jul.	37.1	4.24	5.54	26.60	4.52	0.82	0.32	5.57
16 Jul.	33.9	3.66	5.25	21.20	3.73	0.83	0.27	6.71
23 Jul.	34.0	3.96	6.83	16.70	3.35	0.57	0.21	5.77
30 Jul.	34.8	3.92	5.85	17.20	3.32	0.56	0.24	6.17
6 Ago.	38.4	4.43	7.24	17.50	3.38	0.85	0.32	6.09
13 Ago.	35.9	3.99	6.58	16.60	2.74	0.70	0.26	6.17
20 Ago.	41.7	4.68	8.46	13.80	2.61	0.94	0.29	5.46
27 Ago.	39.1	4.26	8.55	10.93	2.10	0.86	0.25	5.39
3 Set.	39.3	4.35	9.85	6.85	1.67	0.79	0.20	5.49
10 Set.	41.8	4.94	10.87	5.22	1.76	0.97	0.25	5.95
20 Set.	38.5	4.78	13.28	2.72	1.23	0.72	0.16	5.59
24 Set.	42.4	5.00	14.12	2.33	1.18	0.89	0.17	5.95
4 Out.	41.4	5.31	18.08	1.56	1.04	0.79	0.14	5.05
7 Out.	42.1	6.17	22.45	1.57	1.17	0.81	0.19	4.88
SE	1.5	0.30	1.17	0.84	0.15	0.09	0.02	0.44

Adaptado de COURT et al., 1993.

Uma vez estabelecido o ponto de colheita, esta deve ser realizada com o tempo seco e após a evaporação do orvalho (CORREA JÚNIOR et al., 1994; MARTINS et al., 1994), pois a colheita após um período prolongado de chuvas (Quadros 6 e 7) pode reduzir o teor de princípios ativos em função do aumento do teor de umidade das plantas, o que também foi observado por MATTOS et al., (1996).

Quadro 6 - Médias da percentagem de umidade e produções de massa verde, matéria seca e óleo essencial de hortelã-rasteira, *Mentha x villosa* Huds, submetida a épocas de colheita na estação seca.

Épocas de colheita (dias)*	Umidade (%)	Massa Verde (t/ha)	Matéria Seca (t/ha)	Óleo essencial (l/ha)
60	90,70	9,89 b	1,83 b	3,24 b
67	85,00	14,61ab	2,29ab	7,24ab
74	85,00	18,70ab	2,69ab	9,45a
81	85,70	20,29a	3,05ab	10,01a
88	85,50	24,02a	3,49a	12,00a
95	85,70	16,57ab	2,38ab	6,69ab
102	85,20	14,07ab	2,18ab	6,26ab

* dias após o transplântio

- Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Adaptado de MATTOS et al., 1996.

Quadro 7 - Médias da percentagem de umidade e produções de massa verde, matéria verde e óleo essencial de hortelã-rasteira, *Mentha x villosa* Huds, submetida a épocas de colheita na estação chuvosa.

Épocas de colheita (dias)*	Umidade (%)	Massa Verde (t/ha)	Matéria Seca (t/ha)	Óleo essencial (l/ha)
60	84,88ab	9,28 b	1,40 c	2,47 b
67	86,50ab	14,11ab	1,90 bc	4,22ab
74	87,44a	15,77ab	1,98 bc	5,05ab
81	85,25ab	14,22ab	2,10 bc	5,25ab
88	85,00ab	14,27ab	2,15 bc	5,29ab
95	80,83 b	17,98a	3,39a	6,69a
102	85,17ab	17,83a	2,66a	5,87ab
D.M.S	6,09	5,69	1,17	4,13

* dias após o transplântio

- Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Adaptado de MATTOS et al., 1996.

OPERAÇÕES PÓS-COLHEITA

O metabolismo de muitos compostos secundários é essencial para a vida das plantas tanto no período pré-colheita, quanto na pós-colheita. Durante o período de pós-colheita, a síntese de muitos compostos é continuada (por exemplo o aroma volátil de *Malus sylvestris*, Mill) e há degradação de outros compostos liberando energia e precursores para reações de síntese. Muitas dessas mudanças ocorrem após a colheita, porém nem sempre são desejadas. Deve-se trabalhar a fim de se conservar estes produtos colhidos de modo a minimizar o desenvolvimento de mudanças indesejáveis (KAYS, 1991).

A matéria prima colhida no momento mais indicado e de forma correta, deve ser recolhida em recipientes de maneira a não ficar esmagada ou comprimida. Deve ser protegida do sol e imediatamente transportado para o seu destino, evitando-se assim a aceleração do processo de degradação, o que pode vir a contribuir com perdas significativas de qualidade.

Normalmente, as plantas colhidas podem seguir três caminhos: uso direto da matéria prima fresca, extração de substâncias ativas ou aromáticas ou secagem para uso posterior ou comercialização (MARTINS et al.,1994). Independente do caminho que será seguido, este material colhido deve inicialmente passar por uma seleção, onde devem ser eliminados elementos estranhos como

terra, pedras, insetos ou partes de outras espécies, bem como partes da planta que estiverem em condições indesejáveis como sujas, descoloridas, manchadas, danificadas, etc.

Em muitos casos, colhem-se pequenas quantidades de plantas medicinais que terão uso doméstico na forma de chás, tinturas, preparo de xaropes, pomadas, entre outros. Assim, este material fresco deve ser utilizado o mais rápido possível.

No caso de comercialização, algumas espécies aromáticas e condimentares vêm sendo comercializadas frescas em feiras, supermercados ou vendidas diretamente a restaurantes.

As flores frescas de *Tropaeolum majus* vêm sendo muito utilizadas para acompanhar e enfeitar folhas verdes (CASTELLANI, 1997) sendo comercializada desta forma, diretamente nos restaurantes de grandes cidades.

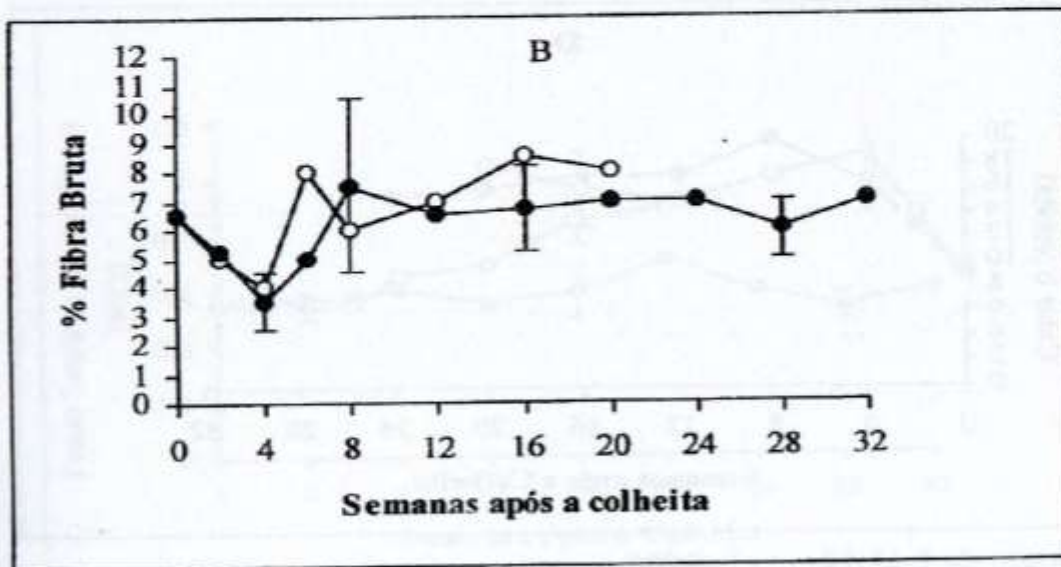
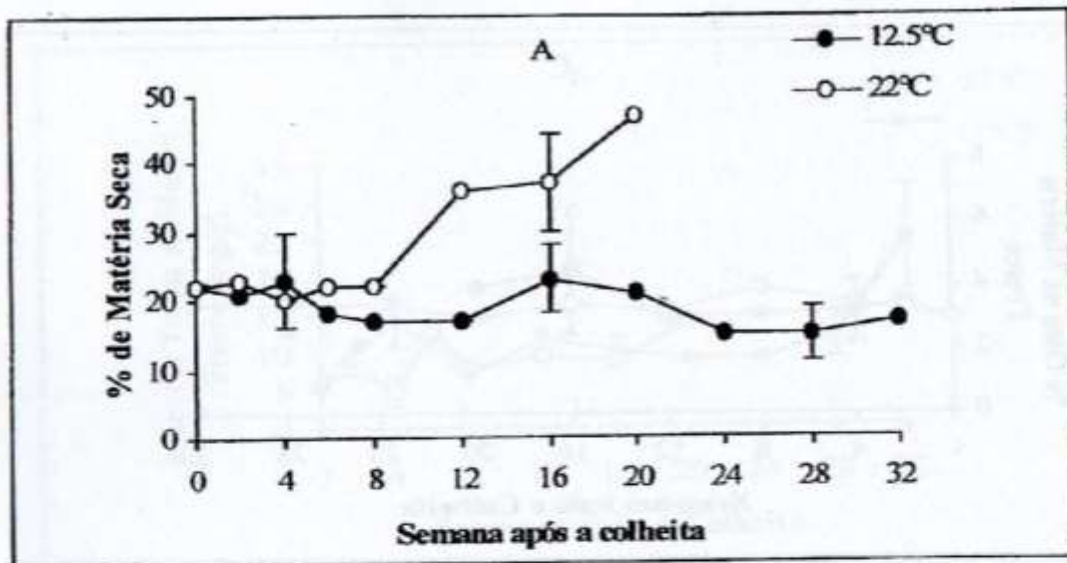
A qualidade pós-colheita de vegetais frescos geralmente depende de toda a qualidade alcançada ao longo do tempo, sendo influenciada por fatores pré-colheita, que são resultantes da combinação de componentes genéticos e ambientais (WESTON & BARTH, 1996). Esta qualidade alcançada pode ser mantida, desde que realizados manejos adequados durante a vida pós-colheita. Sendo assim, necessário se torna conhecer o comportamento das espécies em condições diversas de luz, temperatura, umidade, uso de embalagens e potencial de estocagem.

Folhas frescas de *Ocimum basilicum* L., estocadas até 8 dias à 12°C não desenvolveram sintomas de injúria de frio, mas quando estocadas à 4°C os sintomas apareceram após 2 dias de estocagem e aumentaram severamente com a duração da estocagem. Em temperaturas moderadas de 8°C os sintomas aparecem após 4 dias de estocagem (MEIR et al., 1997).

PAULL et al. (1988), estudando as mudanças de composição do gengibre fresco durante a estocagem, não obteve mudanças significativas no teor de óleo quando estocado em temperaturas de 12,5°C ou 22°C (Figura 2), enquanto que o teor de fenóis teve aumento gradual quando estocado à 22°C e menores mudanças à 12,5°C em função de semanas após a colheita.

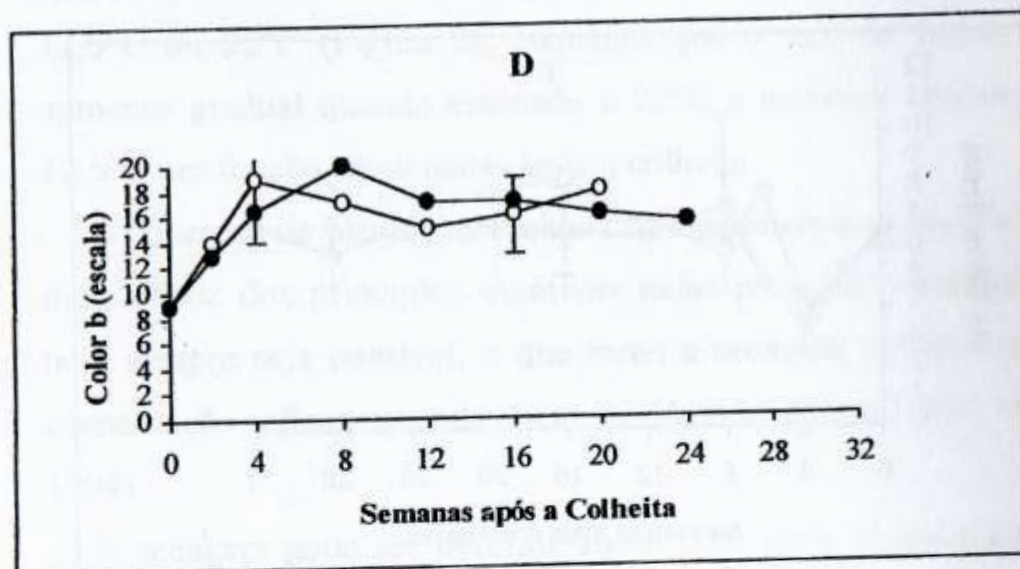
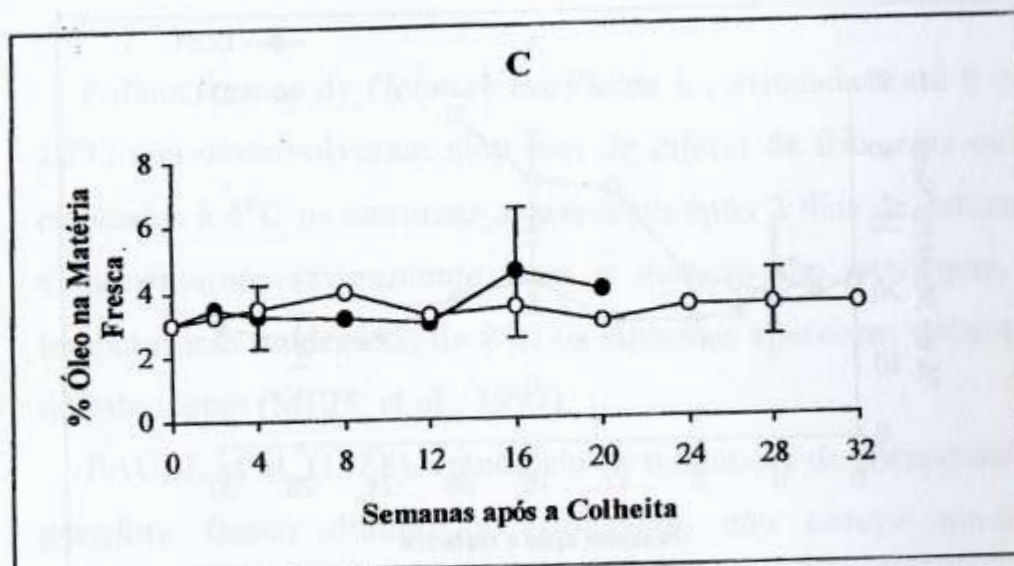
O consumo de plantas medicinais frescas tende a garantir a ação mais eficaz dos princípios curativos nelas presentes, embora isso nem sempre seja possível, o que torna a secagem um método de conservação eficaz quando bem conduzida (MARTINS et al., 1994).

A secagem pode ser definida como uma série de medidas que visam a durabilidade do fitoterápico, sendo necessária para que não haja modificações físicas, químicas ou microbiológicas na droga. Com a secagem, reduz-se a ação de enzimas pela desidratação permitindo a conservação das plantas por mais tempo, além de que eliminando a água, aumenta-se o percentual de princípios ativos em relação ao peso.



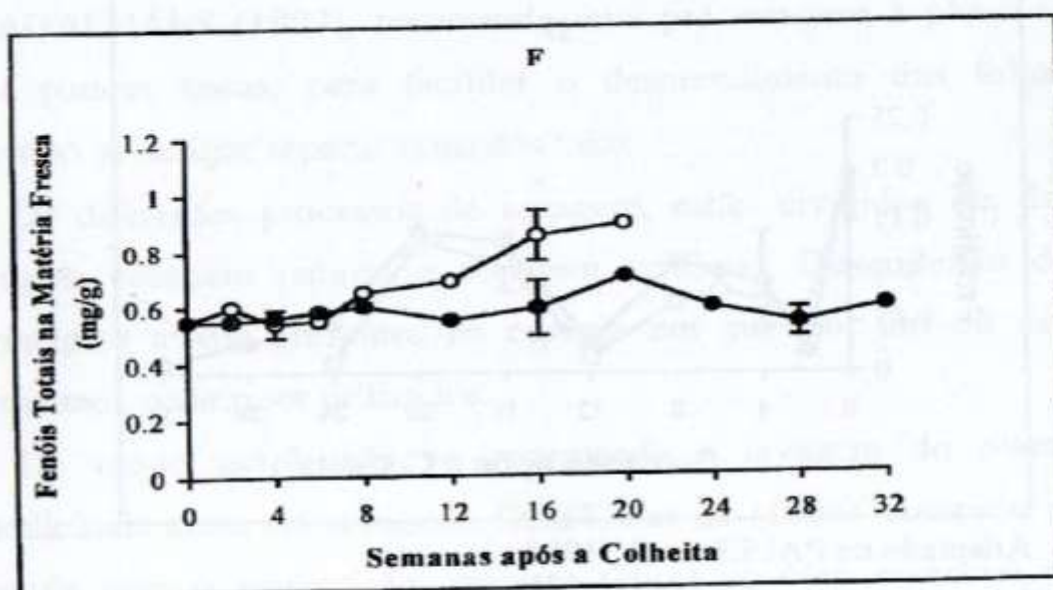
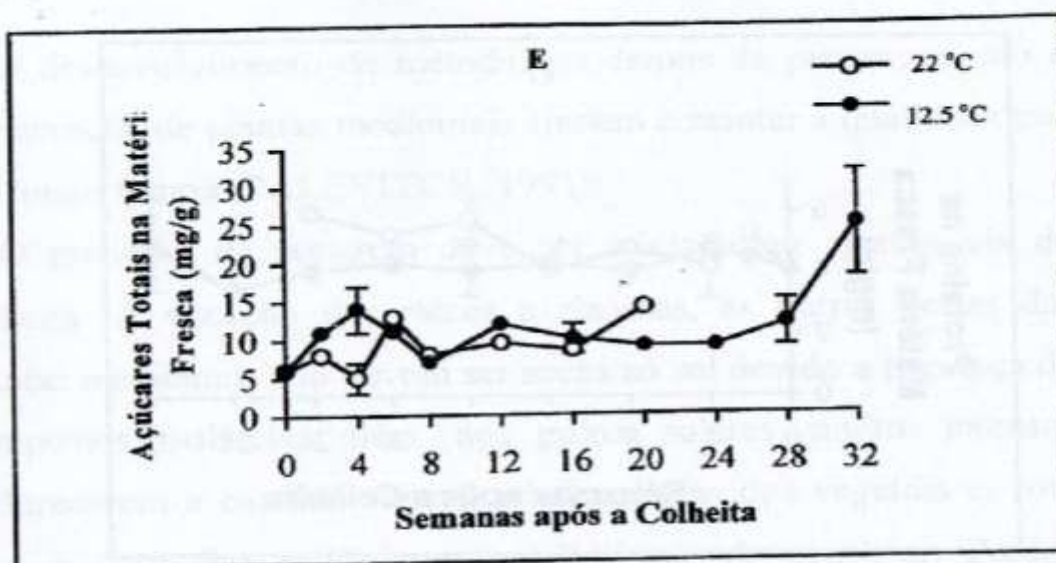
Adaptado de PAULL et al., 1998.

Figura 2 – Mudanças durante a estocagem de rizomas de gengibre colhidos em 1983 e estocados à 12,5°C (●) ou 22°C (○). Em (A) porcentagem de matéria seca; (B) fibra bruta; (C) porcentagem de óleo (oleosim); (D) coloração; (E) açúcar total; (F) fenol total; (G) proteínas e (H) atividade da proteinase.



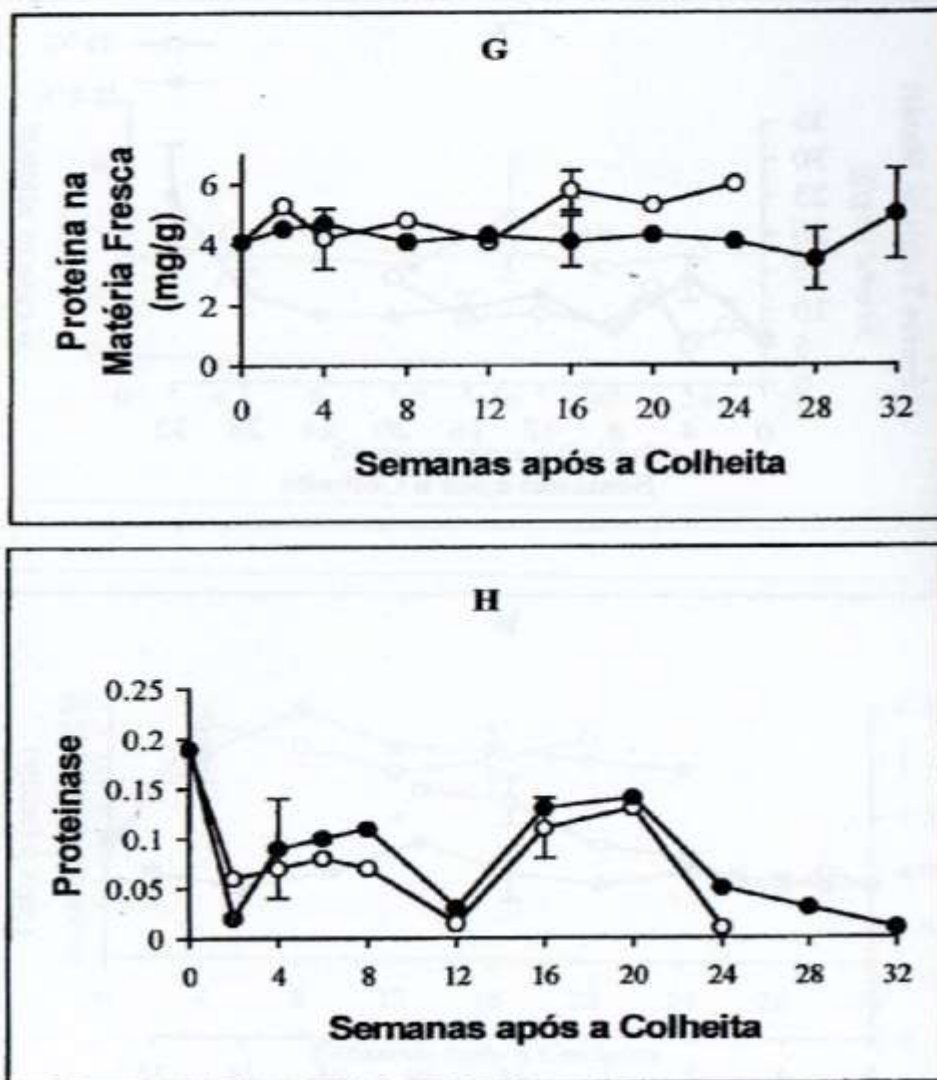
Adaptado de PAULL et al., 1998.

Figura 2 – Mudanças durante a estocagem de rizomas de gengibre colhidos em 1983 e estocados à 12,5°C (●) ou 22°C (○). Em (A) percentagem de matéria seca; (B) fibra bruta; (C) percentagem de óleo (oleosim); (D) coloração; (E) açúcar total; (F) fenol total; (G) proteínas e (H) atividade da proteinase.



Adaptado de PAULL et al., 1998.

Figura 2 – Mudanças durante a estocagem de rizomas de gengibre colhidos em 1983 e estocados à 12,5°C (●) ou 22°C (○). Em (A) percentagem de matéria seca; (B) fibra bruta; (C) percentagem de óleo (oleosim); (D) coloração; (E) açúcar total; (F) fenol total; (G) proteínas e (H) atividade da proteinase.



Adaptado de PAULL et al., 1998.

Figura 2 – Mudanças durante a estocagem de rizomas de gengibre colhidos em 1983 e estocados à 12,5°C (●) ou 22°C (○). Em (A) percentagem de matéria seca; (B) fibra bruta; (C) percentagem de óleo (oleosim); (D) coloração; (E) açúcar total; (F) fenol total; (G) proteínas e (H) atividade da proteinase.

O desenvolvimento de métodos modernos de processamento e preservação de plantas medicinais ajudam a manter a qualidade por um longo tempo (PALEVITCH, 1991).

O processo de secagem deve ser iniciado no mesmo dia da colheita. À exceção das raízes e rizomas, as outras partes das plantas medicinais não devem ser secas ao sol devido a presença de compostos voláteis, além dos raios solares muito intensos endurecerem a camada superficial de células dos vegetais e, com isso, a água fica retida sem possibilidade de evaporar. Porém, MAGALHÃES (1997), recomenda uma pré-secagem à pleno sol por poucas horas, para facilitar o desprendimento das folhas, quando se desejar separar estas dos talos.

Os diferentes processos de secagem, estão divididos em dois grupos: secagem natural e secagem artificial. Dependendo dos princípios ativos presentes na espécie em questão, um ou mais processos podem ser utilizados.

De modo geral, não se recomenda a lavagem de plantas medicinais antes da secagem. COSTA et al. (1996) observou em estudo com o manjeriço, maiores teores de óleo essencial nas parcelas onde o material não havia sido lavado em água ou solução de hipoclorito de sódio. Porém as parcelas não lavadas, bem como as lavadas em água corrente apresentaram qualidade microbiológica referente a valores até 60.000 UFC/g (Unidades Formadoras de Colônias), o que segundo a Portaria do Ministério

da Saúde de 28/01/87, o produto se encontra em condições higiênicas insatisfatórias. COSTA et al. (1998), verificou também maior carga microbiológica nas folhas da espécie *Vernonia ferruginea* não lavadas antes da secagem em relação às lavadas com jato d'água, porém neste estudo não foi avaliada a qualidade fitoquímica. Há necessidade de mais pesquisas visando um equilíbrio entre qualidade fitoterápica x qualidade microbiológica.

Antes de se iniciar o processo de secagem, as plantas devem ser separadas por espécies. As plantas colhidas inteiras devem ter cada parte (folha, flor, semente, fruto e raiz) seca em separado, pois o tempo de secagem é diferente (MARTINS et al., 1994).

As plantas devem ficar bem separadas durante a secagem, permitindo maior circulação de ar, evitando a formação de mofo e fermentação. Assim, se a secagem for realizada em bandejas, deve-se fazer camadas finas em geral de 3 cm para folhas e 15-20 cm para flores e sumidades floridas (CORREA JÚNIOR et al., 1991).

SECAGEM NATURAL

A secagem natural consiste basicamente em colocar os ramos cortados dependurados em local sombreado. Os estrados para deposição do material, peneiras, dentre outros recursos, também são utilizados.

A secagem natural é um procedimento lento, por isso não é feita ao sol, porém, o local deve ser ventilado para evitar fungos e facilitar a perda de umidade. O local também deve ser protegido de poeira e do ataque de insetos e outros animais além de ser higiênico.

A velocidade de secagem do material dependerá das condições climáticas como ventilação, umidade relativa e temperatura. Sendo assim, quando alguma das condições climáticas for desfavorável, a secagem se tornará muito lenta resultando em perdas de qualidade do material. A secagem natural só é viável em regiões de baixa umidade relativa, sendo que 50% de umidade relativa tem-se mostrado eficiente, dada a rapidez e qualidade do material (MARTINS et al., 1994).

COSTA et al. (1996), comparando a secagem natural com outros dois métodos de secagem: estufa e sala com desumidificador, observou que na secagem natural as plantas apresentaram aparência e aroma inadequados e inferiores aos outros tratamentos. Talvez tais resultados possam ser justificados pelas condições de alta umidade relativa onde o estudo foi conduzido.

SECAGEM ARTIFICIAL

A secagem artificial é fundamentada no aumento da capacidade do ar de retirar a umidade das plantas. Assim, utilizam-se métodos

que elevam a temperatura e promovem a ventilação ou simplesmente reduzem a umidade (MARTINS et al., 1994).

A temperatura de secagem em geral varia entre 20 e 40°C para sumidades floridas, flores e folhas e entre 60 a 70°C para cascas e raízes (CORREA JUNIOR et al., 1991). Existem diversos tipos de secadores no mercado que podem ser adaptados para a secagem de plantas medicinais.

O uso do desumidificador para a secagem de espécies medicinais é uma alternativa bastante viável e atualmente muito adotado em projetos de pequeno porte de prefeituras e pastorais de saúde.

O forno de microondas também vem sendo utilizado para a secagem doméstica de plantas medicinais, conservando o aroma e a cor. TSANG & FURUTANI (1989) observaram que a secagem de noz-macadamia em forno de microondas é reduzida a um tempo de 16 minutos, enquanto na secagem tradicional em secador a 75°C o tempo é de 48 horas, não havendo diferenças significativas entre as percentagens de umidade obtidas pelos dois métodos. A radiação emitida pelo forno porém deve ser verificada, uma vez que as espécies serão utilizadas como medicamento.

A escolha do método mais adequado de secagem depende da espécie e dos componentes químicos, de forma que o método de secagem contribua ao mínimo com perdas de ordem visual bem como na composição do material.

COURT et al. (1993), verificaram grande perda no teor de óleo da espécie *Mentha piperita* quando submetida a secagem, devido a volatilizações (Quadro 8).

Na espécie *Mikania laevigata* também foi verificada a variação no teor de cumarinas entre as folhas frescas e as submetidas ao processo de secagem, sendo que quando frescas apresentaram teor significativamente maior (1,14%) do que quando secas (0,49% e 0,69%, respectivamente para secagem à 30°C por 4 dias e à 45°C em 1 dia), no entanto não havendo diferença significativa entre as duas condições de secagem (REHDER et al., 1998).

COSTA et al. (1998), constatou melhor qualidade visual em folhas de *Mikania glomerata* quando secas em estufa com circulação forçada de ar à 37°C do que quando em câmara com desumidificador, onde apresentaram manchas escuras, o que pode indicar que a espécie necessita de menor tempo de secagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As operações de colheita e armazenamento são decisórias para manutenção da qualidade visual, microbiológica e fitoquímica das espécies medicinais, alcançadas por meio do cultivo adequado.

O momento ideal de se realizar a colheita, ou o ponto de colheita, varia de acordo com o órgão da planta, estágio de desenvolvimento, a época do ano e a hora do dia. Isto se

fundamenta em observações que vêm sendo realizadas ao longo do tempo, sobre as variações particulares dos compostos químicos resultantes do metabolismo secundário das plantas e, que são utilizados pelo ser humano e também pelos animais como medicamentos. Estes compostos químicos conhecidos como princípio ativo das plantas medicinais são micromoléculas estruturalmente muito variadas e possivelmente desempenham uma função ecológica na planta como por exemplo proteção ao ataque de predadores. A presença e o teor destes, variam portanto em função da espécie, do momento e do local onde a planta se encontra.

A escolha da parte da planta a ser utilizada para determinado fim, é muito importante, uma vez que pode-se utilizar uma parte que não contenha ou contenha baixos teores do princípio ativo que se busca.

As composições químicas são diferentes nas diversas partes (folha, raiz, inflorescências e brácteas) de *Taraxacum officinale*. Enquanto nas flores foi detectado altos teores de flavonóides, nas raízes estes não estavam presentes. Os flavonóides usados como medicamento, são importantes para muitas espécies como atrativo a insetos polinizadores, o que pode explicar a sua maior concentração nas inflorescências.

O horário de se realizar a colheita também deve ser em função do princípio ativo que se encontra na espécie. Os princípios ativos podem apresentar picos de produção ao longo do dia.

No processo de colheita, a escolha dos utensílios a serem utilizados (tesoura de poda, podão, enxada, etc.) devem ser adequados à parte colhida, bem como o material colhido não deve ser amontoado ou esmagado, minimizando-se assim possíveis danos mecânicos no processo. Os danos mecânicos são porta de entrada para microorganismos e contribuem para acelerar o processo de deterioração do material e conseqüente perda de qualidade.

O material colhido deve ser encaminhado rapidamente ao seu destino, evitando-se que fique exposto a poeira e ao sol, o qual contribui para volatilização de alguns princípios ativos como os óleos essenciais.

Todas essas medidas associadas à limpeza criteriosa do material, eliminando-se partes estranhas e estragadas, contribuirão com a qualidade final que é dada pelo aspecto visual, carga microbiológica e qualidade fitoquímica.

As plantas medicinais quando usadas frescas devem ser utilizadas o mais rápido possível visto que as perdas evoluem a cada instante e a vida útil em termos de qualidade é muito reduzida.

O mais comum é a utilização da secagem que permitirá a conservação das plantas por um período maior de tempo.

A escolha do método de secagem depende da parte da planta a ser seca (raiz, flor, folhas, sementes), do (s) princípio(s) ativo(s) presentes, bem como da disponibilidade de equipamentos.

Ao se optar pela secagem natural deve-se levar em consideração além das características da espécie as condições que podem favorecer as perdas pela lentidão ou pela rapidez da secagem.

No caso da secagem artificial o uso do desumidificador têm tido resultados satisfatórios.

O material seco, e em alguns casos, o material fresco devem ser embalados, sendo a escolha do tipo de embalagem dependente da espécie, das condições ambientais e do tempo.

Pelo exposto torna-se clara a complexidade dos fatores técnicos e das particularidades na manutenção da qualidade final. Portanto, para cada planta, ou parte desta, poderão ser otimizados: o ponto de colheita, o tipo de secagem e a embalagem e o tempo de armazenamento, tornando evidente que talvez o ponto de partida seja conhecer melhor a espécie, seu(s) constituinte(s) químico(s) e o comportamento deste(s) em função de todas essas variáveis.

Pode-se observar a grande complexidade em torno do assunto. Percebe-se a carência de pesquisa e sua continuidade, ou seja, o estudo de uma espécie sobre vários aspectos (ponto de colheita, respostas ao tipo de secagem, embalagem e tempo de armazenamento). Avalia-se o comportamento de uma espécie em função de uma variável, mas não se tem informação sobre a mesma

em outras condições. Isto pode ser justificado pelo grande número de variáveis envolvidas, o grande número de espécies utilizadas como recurso terapêutico. A pesquisa foi intensificada recentemente e ainda está muito limitada. Os resultados das pesquisas já realizadas se encontram muito dispersos e muitas vezes nem publicados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTELANNI, D.C. **Crescimento, Anatomia e produção de ácido erúico em *Tropaeolum majus* L.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 108 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- CORREA JÚNIOR, C., MING, L C., SCHEFFER, M. C. **Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas.** 2. ed. Jaboticabal, SP: FUNEP, 1994.162 p.
- COSTA, C. de, et al. Qualidade da matéria –prima do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) e rendimento do óleo essencial extraído após diferentes métodos de secagem e pré- secagem. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 14, 1996, Florianópolis, SC: UFSC, 1996. p.72.
- COSTA , C.C.,CASALI, V.W.D., NÉLIO, J. Qualidade da matéria-prima do assa-peixe (*Vernonia ferruginea*) após secagem, em duas épocas de colheitas. In: WORKSHOP DE PLANTAS MEDICINAIS DE BOTUCATU, 3, 1998, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: UNESP, 1998 .p.38.
- COSTA, C.C., CASALI, V.W.D., MACEDO, J.A.B. Secagem, embalagem e qualidade da matéria-prima do guaco (*Mikania glomerata*). In: WORKSHOP DE PLANTAS MEDICINAIS DE BOTUCATU, 3, 1998, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: UNESP, 1998. p.35.

- COURT, W.A., ROY, R.C., POCS, R. Effect of date on the yield and quality of the essential oil of peppermint. **Can. J. Plant Sci.**, v.73, n.228, p. 815-824, 1993.
- HASLER, A., MEIER, B. Ginkgo biloba- content of flavonoids and terpenes from leaves during the harvest time and from full extracts determined by chromatographic and biological methods. **Planta Medica**, v.59, p.632, 1993. Suplemento.
- KAYS, S. T. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI, 1991. 532 p.
- LOPES, N. P., KATO, M. J., ANDRADE, E. H. A., MAIA, J. G. S., YOSHIDA, M. Circadian and seasonal variation in the essential oil from *Virola surinamensis* leaves. **Phytochemistry**, v. 46, n. 4, p.689-693, 1997.
- MAGALHÃES, P.M. **O caminho medicinal das plantas: aspectos sobre o cultivo**. Campinas, S.P: RZM , 1997. 120 p.
- MARTINS, E. R., CASTRO, D. M., CASTELLANI, D. C., DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 220 p.
- MARTINS, E.R. **Morfologia interna e externa, caracterização isoenzimática e óleo essencial de *Ocimum selloi* Benth.** Viçosa, M.G: UFV, 1996. 97 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, 1996.

- MATTOS, S.H., CHAVES, F. C. M., NASCIMENTO, M. M., FREITAS, J. B. S., MATOS, F. J. A., INNECO, R. **Épocas de colheita de hortelã rasteira, *Mentha x villosa* Huds.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 36, 1996, Rio de Janeiro, RJ. **Resumos...** Rio de Janeiro, RJ: SOB, 1996. p.98.
- MEIR, S., RONEN, R., LURIE, S., HADAS, S. P. Assessment of chilling injury during storage: chlorophyll fluorescence characteristics of chilling-susceptible and triazole-induced chilling tolerant basil leaves. **Postharvest Biology and Technology**, v.10, p.213-220, 1997.
- PALEVITCH, D. Agronomy applied to medicinal plant conservation. In: INTERNATIONAL CONSULTATION ON CONSERVATION OF MEDICINAL PLANTS, 1988, Chiang Mai, Thailand. **Proceedings...** Cambridge: Cambridge University, 1991. p.167-178.
- PAULL, R.E., CHEN, N.J., GOO, T.C. T. Compositional changes in ginger rhizomes during storage. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.113, n.4, p.584 -588, 1998.
- REHDER, V. L. G., SARTORATTO, A., MAGALHÃES, P. M., FIGUEIRA, G. M., MONTANARI JÚNIOR, LOURENÇO, C. Variação fenológica do teor de cumarina em *Mikania laevigata* Schultz Bip., ex Baker. In: WORKSHOP DE PLANTAS MEDICINAIS DE BOTUCATU, 3, 1998, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: UNESP, 1998. p.26.

- SILVA, E. M. J., MACHADO, S. R. Estruturas secretoras em pariparoba (*Piper regnellii* – Piperáceas): correlações entre a idade foliar, tipo de estrutura e secreção. In: WORKSHOP DE PLANTAS MEDICINAIS DE BOTUCATU, 2, Botucatu. Anais... Botucatu: UNESP, 1996. p.64.
- TARNAI, E. A., PAGLIUCA, G., PIRETTI, M. V. Systematic investigation of polyphenol compounds from different parts of cherry tree (*Prunus avium*). *Fitoterapia*, v.65, n.6, p.541-548, 1994.
- TSANG, M. M. C., FURUTANI, S. C. Rapid moisture content determination of macadamia nut by microwave drying. *Hort. Science*, v.24, n.4, p.694-695, 1989.
- VILA, R., MUNDINA, M., MUSCHIETTI, L., PRIESTAP, H. A., BANDONI, A. L., ADZET, T., CAÑIGUERAL, S. Volatile constituents of leaves, roots and stems from *Aristolochia elegans*. *Phytochemistry*, v.46, n.6, p.1127- 1129, 1997.
- VON HERTWING, I.F. **Plantas aromáticas e medicinais:** plantio, colheita, secagem e comercialização. São Paulo, SP: Ícone, 1986. 441 p.
- WESTON, L. A., BARTH, M. M. Preharvest factors affecting postharvest quality of vegetables. *Hort. Science*, v.32, n.5, p.812-816, 1997.

WHKOMIRSKI, B., DUBIELECKA, B. Sterol content as a similarity marker of different organs of two varieties of *Chrysanthemum parthenium*. *Phytochemistry*, v.42, n.6, p.1603-1604, 1996.

WILLIAMS, C. A., GOLDSTONE, F., GREENHAM, J. Flavonoids, cinnamic acids and coumarins from the different tissues and medicinal preparations of *Taraxacum officinale*. *Phytochemistry*, v.42, n.1, p.121-127, 1996.

METABOLISMO SECUNDÁRIO

CAPÍTULO 3

*“ Não há outra lei, senão a do Amor-Sabedoria,
que tão profundamente permita ao homem
descobrir os mistérios do
reino vegetal”*

INTRODUÇÃO

O conceito de produto natural é restrito a todos os compostos de origem natural, que podem ser específicos de um único organismo, ou comum a grupos de organismos. A utilização destes produtos pelo ser humano já era comum na Idade Média, e se preserva até os dias atuais, sendo para diferentes fins (MANN, 1987).

Estes produtos vêm sendo objeto de estudo da Química de Produtos Naturais. Somente por meio dos métodos químicos, pode-se obter tanto o isolamento e a purificação de novos compostos, como a determinação estrutural, sendo que nestas últimas décadas, o advento de técnicas como ressonância magnética nuclear, espectroscopia de massa e outros, muito facilitou as pesquisas.

O interesse contemporâneo pelos produtos naturais, é crescente em estudos de Quimiotaxonomia, estudo de enzimas e química-ecologia, sendo uma área interdisciplinar, abrangendo a Química e também a Biologia. O crescente interesse por esses produtos pela medicina, tem estimulado estudos sobre o potencial de muitas espécies de plantas.

Os compostos químicos presentes no organismo vivo, são sintetizados e degradados por inúmeras reações anabólicas e catabólicas, mediadas por enzimas, e esse complexo sistema de reações químicas constitui o metabolismo dos organismos. Todos os organismos possuem caminhos metabólicos semelhantes de

produção de compostos essenciais para a sobrevivência, tais como: açúcar, aminoácidos, ácidos graxos, nucleotídeos e seus polímeros derivados (polissacarídeos, proteínas, lipídeos, RNA, DNA, etc). Esse caminho denomina-se *metabolismo primário*, e esses compostos são os metabólitos primários. Muitos organismos também utilizam outras rotas metabólicas na produção de compostos que aparentemente não têm utilidade, os metabólitos secundários, esse caminho denomina-se *metabolismo secundário*.

METABOLISMO SECUNDÁRIO

A síntese e a degradação de carboidratos, ácidos orgânicos, proteínas, lipídeos, pigmentos, compostos aromáticos, fenólicos, vitaminas e fitohormônios são considerados como processo secundário (secundário em relação a respiração e fotossíntese), mas esse metabolismo e muitos desses compostos são absolutamente essenciais durante o desenvolvimento dos vegetais e também pós-colheita (KAYS, 1991).

Segundo MARTINS et al., (1994), os metabólitos secundários são a expressão da individualidade química dos indivíduos e diferem de espécie para espécie, qualitativa e quantitativamente; sendo produzidos em pequenas quantidades.

Os caminhos do metabolismo secundário são produtos da resposta genética dos organismos mas talvez sejam ativados

durante determinado estágio de crescimento e desenvolvimento, ou durante períodos de estresse causado por limitação nutricional ou ataque de microrganismos e insetos (MANN, 1987). Assim, a regulação do metabolismo secundário depende da capacidade genética da planta em responder a estímulos internos ou externos e da existência desses estímulos no momento apropriado.

De acordo com MANN (1987), em cada caso o precursor do metabólito secundário pode também ser usado na biossíntese de certas classes de metabólitos secundários (por exemplo: proteínas, ácidos graxos, etc.). Muitas dessas reações, que na maioria são reversíveis, são catalizadas por enzimas de oxidação, redução, alquilação, hidrólise, hidroxilação, eliminação, etc, que utilizam de cofatores como adenosina trifosfato (ATP), coenzima A (CoASH), e nicotinamida adenina dinucleotídeo na forma oxidada ou reduzida (NAD(P)⁺/ NAD(P)H).

PRINCIPAIS CLASSES DE COMPOSTOS NATURAIS ATIVOS

A composição das espécies ainda está longe de ser descrita quimicamente em sua totalidade. Um enorme arsenal de constituintes naturais ainda não foi quimicamente estudado e grande quantidade de compostos, já isolados e com estrutura química determinada, ainda não tem a atividade biológica determinada, seja em relação às suas funções na própria espécie,

seja quanto suas potencialidades de uso, especialmente o uso de interesse terapêutico.

Há três pontos de origem e produção de compostos secundários, diferenciados mediante seus precursores:

- a) ácido shiquímico, precursor de inúmeros compostos aromáticos, incluindo aminoácidos aromáticos, ácidos cinâmicos, e alguns polifenóis;
- b) aminoácidos, fonte de alcalóides e peptídeos, incluindo antibióticos como a penicilina;
- c) acetato, que por meio de duas rotas biossintéticas origina compostos como poliacetilenos, polifenóis, terpenos, esteróides, carotenóides e outros.

Analisando-se os metabólitos secundários produzidos apenas pelas espécies lenhosas, e que tiveram alguma atividade biológica determinada, encontra-se 940 compostos naturais ativos, distribuídos em dezenas de classes distintas de substâncias químicas (MANN, 1987).

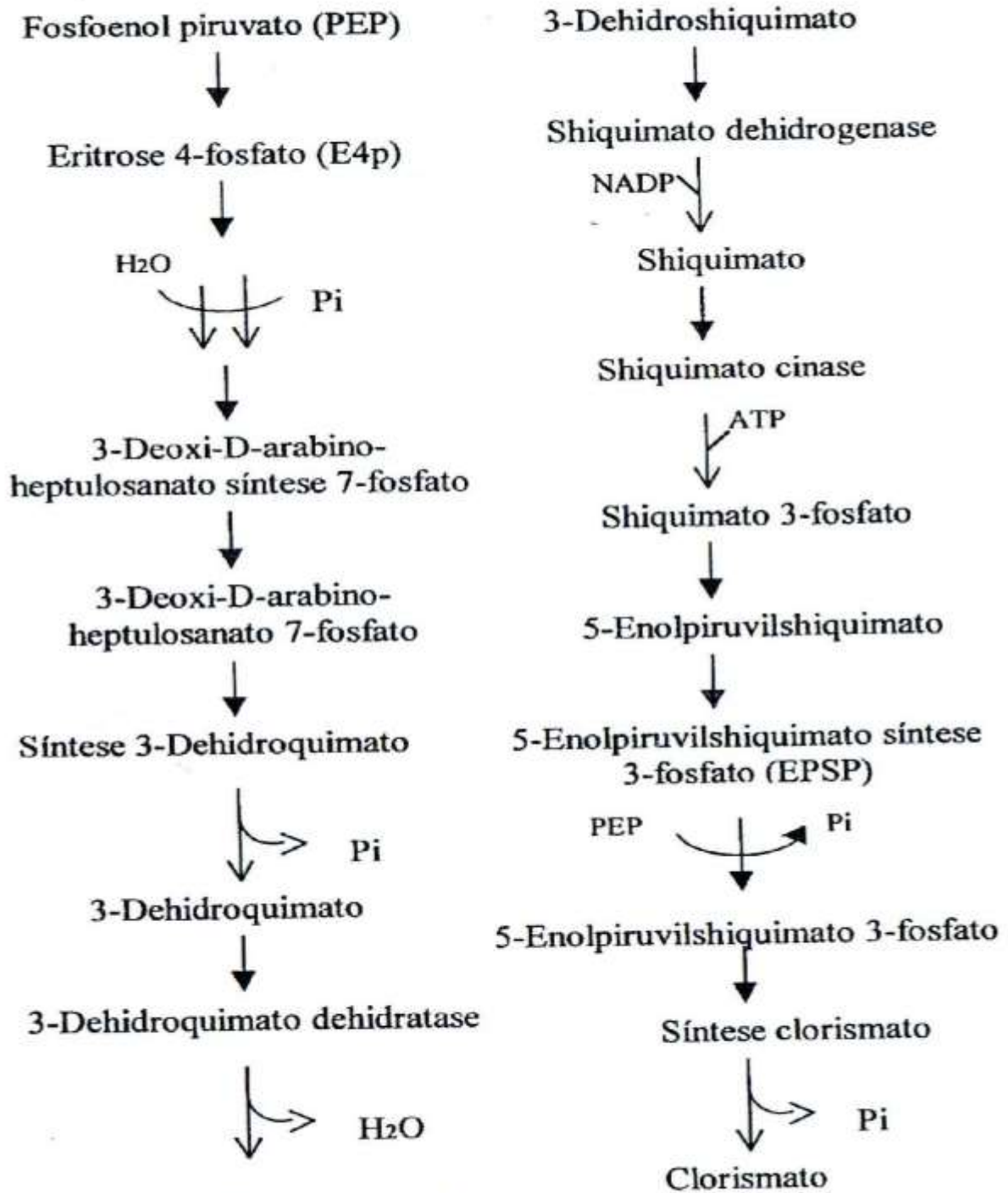
Os alcalóides e terpenos são os compostos com maiores potencialidades de fornecer substâncias com atividade farmacológica.

ALGUNS METABÓLITOS DERIVADOS DO ÁCIDO SHIQUÍMICO

O caminho do shiquimato (Figura 1) foi descoberto e muito pesquisado (HERRMANN, 1995). Este é o caminho pelo qual microrganismos e plantas sintetizam phenilalanina, tirosina, triptofano e um grande número de outros compostos aromáticos, que são críticos para sustentar funções primárias de sobrevivência dos organismos, além de metabólitos secundários cuja função se relaciona mais na manutenção das relações ecológicas destes organismos no ambiente (FLOSS, 1997).

Segundo HERRMANN (1995), em condições normais de crescimento, 20% do carbono fixado pelas plantas flui pela rota do Shiquimato, sendo que no global, aproximadamente 7×10^9 Kg de carbonos/ano são utilizados na síntese de vários metabólitos secundários. Diferentes plantas não só sintetizam diferentes metabólitos secundários aromáticos, mas também em diferentes quantidades e épocas e em compartimentos celulares específicos.

A maioria dos produtos naturais originados desse caminho do Shiquimato, são derivados dos produtos finais desse, ou seja, dos aminoácidos aromáticos. Porém neste caminho, alguns compostos intermediários podem ser desviados e darem origem também a produtos naturais (FLOSS, 1997).



Adaptado de HERRMANN, 1995.

Figura 1- O caminho do Shiquimato.

O caminho do Shiquimato (Figura 1), inicia-se com a reação de condensação das moléculas de fosfoenolpiruvato(PEP) e eritrose 4-fosfato (E4p) catalizada pela enzima 3-deoxi-D-arabino-heptulosanato (DAHP), e segue-se uma sequência de seis reações mediadas por diferentes enzimas até a produção do ácido corísmico que dependendo das enzimas que atuarão poderá ser convertido em um dos aminoácidos aromáticos: fenilalanina, tirosina, ou triptofano.

Todas as enzimas desta rota têm sido isoladas e algumas de suas propriedades descritas. Segundo HERRMANN (1995), as enzimas DAHP e shiquimato cinase têm sido reguladas, representando um controle nesse caminho. Ferimentos mecânicos e ataque de fungos têm levado ao acúmulo do m-RNA, e síntese de DAHP. Isto vem sendo justificado pelo fato de que o clorismato nestas circunstâncias é necessário uma vez que é desviado para a síntese de ligninas e reparo das lesões. Parece que esses estímulos ambientais não só levam a síntese de DAHP, mas atuam especificamente nos tecidos. A enzima shiquimato cinase parece ser controlada pela disponibilidade de energia, ou seja, quando as plantas estão em condições energeticamente favoráveis, o carbono do shiquimato é desviado para síntese de outros compostos secundários, ou estocado na forma de quinato e derivados. Porém, pouco se sabe sobre a síntese do quinato, mas acredita-se que sua degradação também esteja sujeita a regulação.

Dentre os compostos secundários provenientes direta ou indiretamente do caminho do Shiquimato, destacam-se os que se seguem:

Triptofano e compostos relacionados

Triptofano - O triptofano é formado a partir do corismato.

Ácido indol 3- acético - O hormônio de crescimento (auxina) ácido indol 3- acético (IAA), tem sido produzido a partir do triptofano seguindo diferentes caminhos de acordo com a espécie (DEWICK, 1995).

Fenóis e Ácidos Fenólicos

Fenol e Tirosina Fenol-liase - A enzima tirosina fenol-liase catalisa a reação de biosíntese dos fenóis.

Ácido salicílico - Tem sido verificado como constituinte das plantas por muitos anos, porém recentemente foi constatado seu papel regulatório no mecanismo de resistência das plantas à doenças. Sua origem biossintética parece ser a via ácido cinâmico, mas duas vias intermediárias podem ser envolvidas: ácido 2-cumárico ou ácido benzóico, dependendo da sequência de orto-hidroxilação e tamanho da cadeia (DEWICK, 1995).

Ácido Gálico e Galotaninos - A biossíntese dos galotaninos depende do ácido gálico.

Ácido Homogentísico - Este ácido formado a partir do 4-hidroxifenilpiruvato, é um produto do catabolismo da tirosina em muitos organismos, sendo importante fonte de tocoferol e plastoquinonas.

Fenilpropanóides

Compreendem uma grande classe com diversas funções biológicas, cuja presença em determinadas espécies e tecidos tem sido induzida por vários estresses bióticos e abióticos (DIXON & PAIVA, 1995). De acordo com HERRMANN (1995), todos os fenilpropanóides são derivados do ácido cinâmico.

Ácidos hidroxicinâmicos e ésteres

Ligninas - São polímeros de subunidades aromáticas, formados a partir da fenilalanina numa sequência de várias reações ainda não muito bem definidas. Os monômeros que compõe as ligninas variam com a espécie, e com o estágio de desenvolvimento, e estes compostos desempenham diferentes funções como impermeabilidade da parede celular, suporte estrutural nas plantas vasculares e terrestres, funções no transporte de água, dentre outras (WHETTEN & SEDEROFF, 1995).

Segundo DEWICK (1995), um problema encontrado ao se estudar as ligninas é isolá-las dos outros constituintes da parede celular, uma vez que são necessários tratamentos químicos ou mecânicos, que podem ocasionar mudanças nos polímeros originais.

Lignanas - As lignanas possuem distribuição universal nas espécies lenhosas, são uma variedade imensa de metabólitos, devido as diversas reações entre seus precursores. Compreendem uma grande quantidade de compostos cujas atividades biológicas vêm sendo verificadas como antioxidativas, antitumoral, e também exibindo atividade anticâncer, sendo já relatadas na faixa de 36 lignanas naturais com essa atividade. O consumo de muitos alimentos ricos em lignanas tem reduzido os riscos de desenvolver vários tipos de câncer, e vários mecanismos têm sido sugeridos para explicar essa ação protetiva. Entre os compostos com atividade biológica já comprovada destacam-se os ácidos cafeico e ferúlico, o safrol, anetol, eugenol, honoquinol, magnolol, conferol (MANN, 1987; WARD, 1997).

Ácido Trópico - Todos os precursores desses ácidos (fenilalanina, ácido fenilpirúvico e ácido fenliacético) podem ser incorporados a alcalóides dando origem a outros alcalóides como escopolamina e hiosciamina comuns em *Datura stramonium* (DEWICK, 1995).

Taxol - Diterpeno com importante atividade anticâncer, isolado da espécie *Taxus brevifolia*, vem sendo muito utilizado recentemente (DEWICK, 1995).

Cumarinas - Vários tipos de cumarinas com interesses particular são encontradas. Elas são amplamente distribuídas no reino vegetal e representam uma classe de lactonas, que se abrem com tratamento básico e ciclizam-se novamente quando submetidas a tratamento ácido (STRACK, 1997).

O caminho de formação das cumarinas e hidroxycumarinas segue o caminho de formação do hidroxinâmico fenilalanina divergindo em 2 hidroxilações. A presença de uma enzima específica, 2-hidrolase, parece exibir propriedades similares a enzima E2-2, possivelmente incluindo uma base de troca NIH (STRACK, 1997). Na espécie *Melilotus alba* (Fabaceae), foi verificado a formação de cumarinas a partir do 2-O-glicosídeo. É assumido que E-forma é transportada para o vacúolo onde é transformada em Z-formas, sendo esta isomerização induzida por luz UV em condições de experimentação *in vitro*, sendo que em condições naturais há evidências que no vacúolo não ocorra tal dependência. No final do processo de formação da cumarina ocorre espontaneamente uma lactonização seguida de deglicolização catalizada pela enzima O-glicosidase, quando o tecido é danificado por exemplo por injúria mecânica. Em tecidos intactos, ou não danificados, a O-glicosidase e o 2-O-glicosídeo estão separados em

níveis celulares, sendo que o glicosídeo está localizado no vacúolo e a O-glicosidase está associada a parede celular ou localizada em espaços intercelulares (STRACK,1997).

Segundo DIXON & PAIVA (1995), a produção de cumarinas é induzida em condições de ataque de herbívoros, chegando a níveis tóxicos para esses herbívoros causando efeito estrogênico e anticoagulante. MANN (1987) demonstrou em sua pesquisa propriedades anticoagulantes de cumarinas em ratos, exercendo efetivo controle na população.

As hidroxycumarinas podem existir na forma de agliconas ou conjugadas, por exemplo o chicórico, sendo que segundo evidências, os caminhos de substituição de hidroxycumarinas tem sido determinado pelos níveis de cumarinas, análogo aos caminhos de substituições seqüências do hidroxicinâmico fenilalanina, sendo os cumaratos os precursores da umbelliferona, o cafeato da esculetina, e os ferulatos da escopoletina. Um exemplo é a biossíntese do chicórico a partir da umbelliferona, derivada do Z-4-cumarato, onde ocorre uma hidroxilação da umbelliferona formando a esculetina que depende da UDP-glicose para uma glicolização do C-7 (STRACK,1997).

A escopoletina, é um potente estimulante de germinação (em concentrações de 2-20 ppm) e provoca mudanças na fermentação de feno, que resultam na formação de dicumarina. A umbelliferona é também de importância comercial, uma vez que é um dos maiores

componentes de absorção de radiação UV, em muitas preparações (MANN, 1987). De acordo com STRACK (1997), muitas hidroxycumarinas são derivadas da umbelliferona, como as furanocumarinas e dihidropiranicumarinas.

As furanocumarinas têm um grupamento furano ligado ao grupamento aromático, por exemplo "psoralen", e são derivadas de alquilações de cumarinas com DMAPP, e subsequentemente com três átomos de carbono a menos. Recentes avaliações metabólicas no fungo *Aspergillus varicolor*, demonstram que as cumarinas não são derivadas apenas do shiquimato, mas também do acetato, por exemplo a isocumarina, 6-methoxymellin, produzida por cenouras em resposta ao estresse por infestação de fungos (MANN, 1987). Muitas furanocumarinas são tóxicas e frequentemente são fitoalexinas que inibem a germinação de esporos de fungos patogênicos. A cumarina possui efeito antipirético e inibidor da carcinogênese, enquanto que outras cumarinas reúnem um amplo espectro de ações farmacológicas, destacando-se a escopoletina que é antiarrítmica, vasodilatadora, hipotensora, broncodilatadora, bloqueadora da junção neuromuscular, espasmolítica e simpatolítica; a umbelliferona que possui atividades inibidora da carcinogênese, antiespasmódica, antiarrítmica e antimutagênica; e a esculetina que possui atividades antitumoral, antimalárica e antifúngica (STRACK, 1997).

Flavonóides e Antocianinas - Os flavonóides representam uma grande classe de metabólitos secundários produzidos pelas plantas, em que as antocianinas representam dentro dessa classe um grupo especial devido a grande diversidade de cores resultantes de sua síntese.

As antocianinas desempenham funções importantes nas plantas. A síntese de antocianinas nas pétalas tem o objetivo de atrair polinizadores, enquanto a síntese nas sementes e frutos garantem a dispersão (HOLTON & CORNISH, 1995).

Antocianinas e outros flavonóides também são importantes pois protegem as estruturas do vegetal dos danos que podem ser causados pela radiação UV (DIXON & PAIVA, 1995; HOLTON & CORNISH, 1995).

Segundo DIXON & PAIVA (1995), os níveis de antocianina aumentam em plantas em condições de estresse de frio e estresse nutricional (principalmente fosfato), porém as razões deste aumento ainda não são claras.

Os flavonóides, incluindo as antocianinas, são derivados das vias biossintéticas do acetato e shiquimato, tendo como precursores o malonil-CoA, e p-cumaril CoA, sendo que em muitas plantas ambos, antocianinas e flavonóides, são sintetizados na mesma célula e acumulados num mesmo local. Também são denominados pigmentos, possuem uma unidade básica de 15 carbonos, que inclui dois anéis aromáticos hidroxilados, ligados entre si por um

fragmento de 3 carbonos. Inúmeros desses compostos possuem atividades farmacológicas, destacando-se a apigenina, taxfolina, morina, naringenina, genisteína e epicatequina. A naringenina reúne atividades anti-PAF, indutora da formação de hemoglobina, antiespasmódica e anti-hepatotóxica, sendo que vários flavonóides também são usados na produção de odores e sabores de alimentos e bebidas de origem vegetal (HOLTON & CORNISH, 1995).

Quinonas

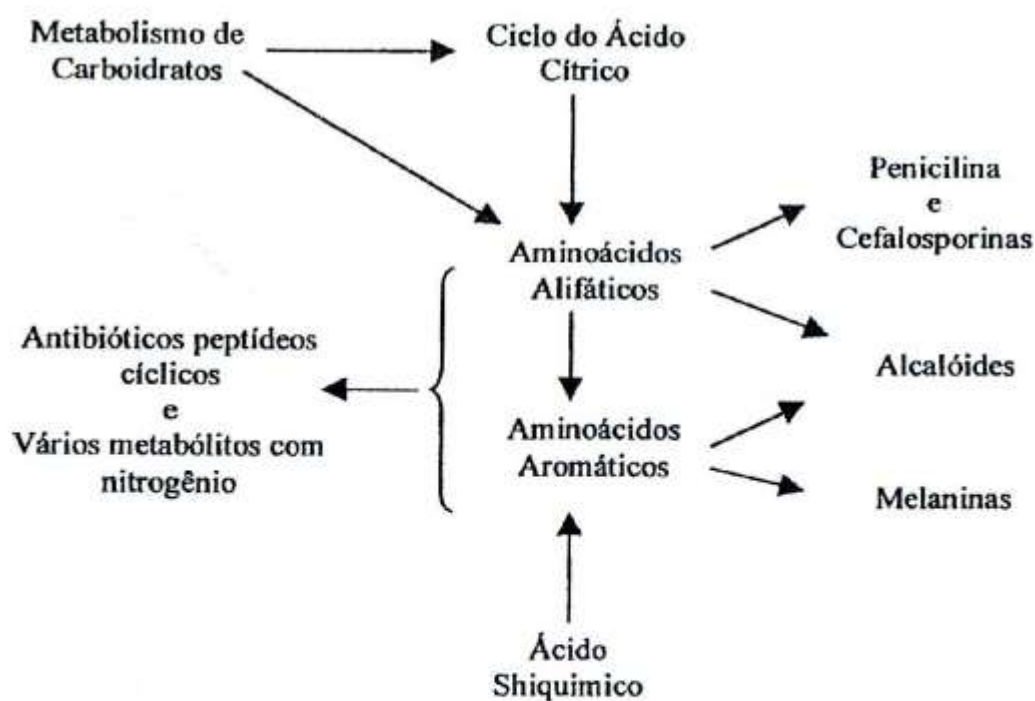
- a) Naftoquinonas: Um grande número de compostos derivam das naftoquinonas, incluindo as filoquinonas (vitamina K1) e menaquinonas (vitamina K2), que são produzidas a partir do corismato (DEWICK, 1995).
- b) Axenomicinas: Constituem um grupo particular caracterizado por antibióticos (DEWICK, 1995).
- c) Ubiquinonas: As ubiquinonas (coenzima Q) também são derivadas do corismato (DEWICK, 1995).
- d) Tocoferol e Plastoquinonas: São acumulados nos cloroplastos das plantas (DEWICK, 1995).

Ácidos Cianogênicos e Glicosinolatos - O caminho biossintético desta classe parece ser muito característico, considerando vários dados provenientes de muitos experimentos que tem sido acumulados (DEWICK, 1995).

ALGUNS METABÓLITOS DERIVADOS DOS AMINOÁCIDOS

O metabolismo secundário a partir dos aminoácidos, pode seguir diferentes caminhos, como pode ser verificado pela Figura 2.

Diferentes tipos de metabólitos secundários são produzidos, principalmente nas plantas superiores, onde destacam-se os alcalóides como uma classe bastante complexa e exótica, enquanto que nos fungos e bactérias estes alcalóides não são produzidos (MANN, 1987).



Adaptado de MANN (1987).

Figura 2- Metabólitos secundários originados de aminoácidos.

Neste tópico só será dado ênfase aos metabólitos originados a partir de aminoácidos não aromáticos, uma vez que os aromáticos são produzidos via rota do Ácido Shiquímico.

Alcalóides

São compostos de origem vegetal, com propriedades alcalinas conferidas pela presença de nitrogênio amínico, podendo ser sólidos ou líquidos, incolores ou de coloração amarela ou roxa.

Apresentam uma enorme diversidade química, mas de fácil sistematização, sendo subdivididos em inúmeras subclasses, com destaque para os alcalóides indólicos, quinolínicos, isoquinolínicos e tropanos.

Segundo MANN (1987), muitos pesquisadores têm relatado sobre o uso farmacológico dos alcalóides pelo ser humano há muito tempo, como estimulante do sistema nervoso central, anestésico, analgésico, dentre outras.

A função desses compostos para as plantas, é pouco conhecida, mas representa uma classe de metabólitos de grande importância como marcadores filogenéticos. Acredita-se que atuem como: reserva na síntese de proteínas; proteção contra insetos e outros herbívoros; estimulantes ou reguladores do crescimento, do metabolismo interno ou da reprodução; agentes finais da desintoxicação por transformações simples de outras substâncias

cujo acúmulo pode ser nocivo aos vegetais (MARTINS et al., 1994).

Na célula vegetal estão localizados nos vacúolos, sendo que quando na forma de sal, encontram-se nas paredes celulares, de folhas, sementes, raízes e caules, com concentração muito variada durante o ano, podendo em certas épocas estarem restritos somente a determinados órgãos (MARTINS et al., 1994).

Apenas 10 a 15% das plantas conhecidas apresentam alcalóides em sua constituição, sendo que essas estão distribuídas em um amplo número de famílias botânicas.

De acordo com MANN (1987), estes alcalóides podem ser subdivididos de acordo com a sua origem. Assim os alcalóides derivados via metabolismo dos aminoácidos alifáticos: ornitina e lisina. Mas os alcalóides também podem ser derivados dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, triptofano e tirosina.

a) Alcalóides derivados do metabolismo da ornitina e lisina

Neste grupo estão envolvidos os alcalóides pirrolidinos, pirrolizidínicos, piperidinos, quinolizidínicos e piridinos (MANN, 1987).

Os alcalóides pirrolidinos, apresentam um núcleo tropano, e incluem compostos de grande interesse farmacológico como hiosciamina, escopolamina e atropina (MANN, 1987).

Os alcalóides pirrolizidínicos possuem duas formas distintas, incluindo substâncias como necina, retronecina e heliotridina. A importância desses compostos na descrição de mecanismos de comunicação e proteção de plantas contra ataque de predadores tem sido muito estudada.

Os piperidinos são derivados da lisina, e um bom exemplo é o licopodino, daí serem também chamados de *Lycopodium* alcalóides (MANN, 1987).

Os quinolizidínicos, ocorrem amplamente no gênero *Lupinus*, mas também são encontrados em vários outros gêneros e famílias botânicas. São originados da lisina e incluem substâncias como a lupaina, esparteína e matrina (MANN, 1987).

Os alcalóides piridínicos, apresentam núcleo pirrólico, e incluem-se aqui a nicotina e lobelina (MANN, 1987).

b) Alcalóides derivados do metabolismo da fenilalanina e triptofano

Apresentam núcleo isoquinolínico, caracterizam-se por um sistema de anel de origem a partir da ciclização da base de Schiff formada entre a dopamina e um aldeído alifático, e incluem substâncias como a emetina, berberina, catequina, dopamina, efedrina, todas com grande atividade terapêutica e em uso na medicina moderna (MANN, 1987).

c) Alcalóides derivados do triptofano

São alcalóides formados a partir de pequenas mudanças químicas da molécula de triptofano, e suas produções resultam da mistura do metabolismo do triptofano e mevalonato (MANN, 1987).

d) Alcalóides derivados do ácido antranílico

Este ácido constitui-se de um metabólito do triptofano, e a partir dele pode-se originar alguns alcalóides. Um grande número desses alcalóides ocorre na família Rutaceae (MANN, 1987).

ALGUNS METABÓLITOS DERIVADOS DO ACETATO

Um grande número de produtos naturais é derivado da acetil-coenzima A. É evidente que ocorrem dois grandes caminhos: um procede da adição de unidades de C₂, polyketides e ácidos graxos; e outro da condensação de unidades de C₅ que produzem os isoprenóides (MANN, 1987).

Ácidos graxos e polyketides

Os polyketides, chamados muitas vezes de acetogeninas, passam por reações subsequentes de modificações (redução, ciclização,

etc), dando origem aos ácidos graxos e derivados. Os ácidos graxos, estruturalmente, são simples metabólitos do acetato.

Os ácidos graxos podem ser do tipo saturado ou insaturado, sendo que os mais comuns são considerados metabólitos primários e apenas alguns mais raros são metabólitos secundários (MANN, 1987).

Isoprenóides: metabólitos derivados do mevalonato.

O metabolismo do acetato também gera um grande e estruturalmente diversificado grupo de metabólitos secundários: os isoprenóides ou terpenóides (MANN, 1987). Representam a segunda classe com maior número de constituintes ativos.

Os isoprenóides são constituídos de unidades de 5 carbonos (unidade isopreno), e a nomenclatura e as classificações refletem o número de unidades isoprenos presentes e as formas de ciclização, apresentando diversos esqueletos cíclicos ou não (Quadro 1) (BRAMLEY, 1997).

Monoterpenos - Os monoterpenos constituem uma classe simples de isoprenóides com estrutura de 10 carbonos, construída de 2 unidades isoprenos, sendo componentes de óleos essenciais e particularmente acumulam em certas Umbelliferae e Pinaceae, mas provavelmente são encontrados em plantas superiores e algas (BRAMLEY, 1997).

Quadro 1- Classes de isoprenóides encontrados em plantas.

Átomos de Carbono	Nome	Antecessor	Subclasses
10	Monoterpenóides	GPP	Iridóides
15	Sesquiterpenóides	FPP	Ácido abscísico, lactonas sesquiterpenóides
20	Diterpenóides	GGPP	Giberelinas
25	Sesquiterpenóides	GFPP	Nenhum
30	Triterpenóides	Squaleno	Phytosteróis, saponinas, cardenolidas
40	Tetraterpenóides	Phytoeno	Nenhum
> 40	Poliprenóis, borrachas	GGPP+ (C ₅) _n	Nenhum

Adaptado de BRAMLEY, 1997.

Constituem uma subclasse que inclui compostos muito comuns como citral, linalol, cânfora, carvacrol, dentre outros de ampla utilização na indústria de cosméticos, alimentícia, além de importantes propriedades farmacológicas.

De acordo com PFANDER & STOLL (1991), os monoterpenos são subdivididos em categorias de acordo com sua estrutura: acíclicos, cíclicos e iridóides.

Sesquiterpenos - Mais de 100 esqueletos de sesquiterpenóides são conhecidos sendo encontrados em plantas, musgos, fungos e algas. Geralmente ocorrem junto aos monoterpenos em óleos essenciais, mas em quantidades menores, sendo que sua acumulação nas plantas superiores ocorre em estruturas secretoras especializadas, as glândulas de óleo (BRAMLEY, 1997).

Poucos sesquiterpenos lineares são conhecidos em comparação com os cíclicos, dos quais destacam-se o himalacol e o costunolídeo. Alguns compostos antitumorais, como vernolepina, fenolina e clenfatina, também são exemplos de sesquiterpenos. Nesta classe inclui-se ainda mais de 300 sesquiterpenos lactonas caracterizadas e presentes em plantas utilizadas como fármaco, além do ácido abscísico encontrado nas mono e dicotiledôneas e gimnospermas (BRAMLEY, 1997).

Diterpenos - São terpenos com 20 unidades de carbono, possuem origem no pirofosfato de geranylgeranyl e se caracterizam como um grupo de compostos onde cadeias acíclicas são raras (MANN, 1987). Dois exemplos de diterpenos ativos podem ser destacados. O tripdiolídio com atividade antimetabólica e inibidor da síntese de DNA e RNA. A bacatina composto taxânico com potente atividade citotóxica.

Os diterpenos são encontrados principalmente em plantas superiores e fungos e incluem as giberelinas que são diterpenóides tetracíclicos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Dados revelam que já foram identificadas 90 giberelinas, sendo 79 em plantas superiores e 27 em fungos (BRAMLEY, 1997).

Sesterpenos - São isoprenóides com 25 unidades de carbono, que ocorrem em número muito pequeno na natureza e são pouco conhecidos. A maioria tem origem marinha sendo em muitos textos considerados produto natural marinho. Sendo mais comuns em esponjas marinhas, fungos e líquens. Não são incluídos exemplos de interesse farmacológico isolados de vegetais.

Triterpenos - Caracterizam-se por sua abundância e grande número de compostos ativos. Neste grupo estão incluídos metabólitos de grande importância biológica como colesterol, vitamina D, hormônios sexuais dos mamíferos e inúmeros outros esteróides.

São terpenóides com 30 unidades de carbono, originados de vias biossintéticas e modificações secundárias da molécula de esqualeno. Embora o colesterol e os outros esteróides, possuam apenas de 27 a 29 unidades de carbono, também são classificados como triterpenóides por originarem da mesma molécula de esqualeno (MANN, 1987).

Mais de 4000 moléculas de triterpenóides já foram identificadas, sendo que dentre essas apenas 300 moléculas de esteróis ocorrem em plantas (fitosteróis), incluindo stigmasterol, sitosterol, que desempenham nas plantas funções análogas às do colesterol nos animais, qual seja, a função relacionada ao crescimento das plantas (BRAMLEY, 1997). Também atuam na manutenção da

integridade das membranas e regulação de sua permeabilidade (MANN, 1987).

Alguns exemplos de triterpenos ativos são os ginsenosídeos RC e outros ginsenosídeos que reúnem ação antiespasmódica, analgésica, antiestresse, antilipolítica e de redução do peso corporal. Inúmeros triterpenos possuem atividade antiprotozoários, especialmente contra amebíase e malária, dos quais se destacam a bruceantina, glaucarubolone, bruceínas A, B e C, chaparrinona, bruceantinol e a quassina. As saponinas são triterpenóides glicosídicos encontradas em plantas, cuja função ainda não é bem compreendida, tendo baixa toxicidade ao homem, provavelmente devido a baixa absorção pelo intestino (BRAMLEY, 1997).

Os cardenolídeos são esteróides com 23 unidades de carbono que têm atividade cardíaca, também chamados glicosídeos cardiotônicos. Como exemplo destaca-se a digitoxina utilizada clinicamente como estimulante do coração, sendo que estes cardenolídeos ocorrem em muitas famílias de plantas e também de alguns insetos (BRAMLEY, 1997).

Tetraterpenos - Os terpenos com 40 unidades de carbono representam uma subclasse de metabólitos que inclui a maioria dos carotenóides. Os carotenóides são encontrados nas plantas verdes e também em algumas algas, fungos e bactérias (MANN, 1987). Os presentes nas plantas podem ser pigmentos vermelhos, laranja ou

amarelo, que se encontram embebidos nas membranas de cloroplastos e cromoplastos, sendo que nos estágios finais de desenvolvimento das plantas esses pigmentos contribuem para a coloração de flores e frutos, porém a cor pode ser mascarada pela clorofila nos tecidos fotossintetizantes (BARTLEY & SCOLNIK, 1995).

Segundo BRAMLEY (1997), mais de 600 estruturas têm sido estabelecidas, sendo apenas 150, aproximadamente, em organismos fotossintéticos.

Os carotenóides são divididos em dois subgrupos: os carotenos que são hidrocarbonos; e as xantofilas que são derivados oxigenados (KAYS, 1991).

Podem ser acíclicos ou não, sendo que todos encontrados estão na forma trans, embora existam isômeros cis (BRAMLEY, 1987).

O papel vital dos carotenóides em tecidos fotossintéticos tem sido a proteção em processos fotooxidativos e são um componente estrutural essencial da antena, além de serem precursores do ácido abscísico, e vitamina D. Embora sejam amplamente consumidos pelo ser humano, principalmente com a crescente utilização destes como corante natural de alimentos, do ponto de vista farmacológico, são compostos de pequena importância, mas extremamente úteis quanto ao seu papel biológico, como é o caso da vitamina A (BARTLEY & SCOLNIK, 1995; BRAMLEY, 1997).

IMPORTÂNCIA E RELAÇÕES DO METABOLISMO SECUNDÁRIO

A história de evolução das plantas consiste numa história de constantes adaptações a estresses ambientais e a pressões de herbívoros, outros animais e microrganismos. As plantas que sobrevivem são aquelas que apresentam maior flexibilidade de adaptação às condições adversas de crescimento. Segundo HARBORNE (1997), estas adaptações podem envolver modificações morfológicas, anatômicas, fisiológicas e/ou bioquímicas, sendo que essas alterações bioquímicas envolvem tanto o metabolismo primário quanto o secundário.

O processo de adaptação das plantas ao nicho ecológico envolve competição entre as espécies, na busca de um equilíbrio predador-presa, sendo que as espécies podem se adaptar às condições adversas, migrarem para outras áreas, ou se tornarem extintas.

As plantas terrestres para se adaptarem aos predadores, herbívoros insetos e animais, não migraram, a não ser via dispersão de sementes, por isso desenvolveram uma variedade de caminhos de produção de metabólitos secundários (MANN, 1987). Muitos metabólitos secundários originados de plantas são portanto utilizados na defesa destas, mas sendo o processo de evolução contínuo, as plantas se tornam mais competitivas utilizando esses

compostos, mas muitos herbívoros e microrganismos também tornaram-se tolerantes a esses efeitos.

De acordo com BROWN JÚNIOR (s.d.), existem muitos insetos que são altamente especializados em certas famílias de plantas tóxicas, não atacadas por outros fitófagos. Tais invertebrados se tornaram especialistas nestas plantas uma vez que vieram a adquirir receptores específicos para essas substâncias tóxicas, usando-as para localizar as plantas que só eles podiam comer, e assim garantindo uma vantagem competitiva na utilização de recursos alimentares primários, vindos da fotossíntese desses vegetais.

Porém uma grande quantidade de plantas são resistentes aos herbívoros, pois possuem nessa defesa química, toxinas ou repelentes, que são os metabólitos secundários. A maioria das classes de metabólitos secundários que são tóxicos para os animais se encontram no Quadro 2 (HARBORNE, 1997).

O processo de síntese dos metabólitos secundários é um processo que sai caro para as plantas uma vez que muitos precursores são desviados do metabolismo primário, junto com enzimas, e energia. Assim segundo HARBORNE (1997), as plantas quando atacadas pelos herbívoros apresentam-se frente a um dilema: crescimento ou defesa.

Quadro 2 - Principais classes de metabólitos secundários tóxicos para animais.

Classes de compostos	Exemplos	Toxicidade
Alcalóides	Senecionina em <i>Senecio jacobaea</i>	Venenoso e acumulativo em gado
Cardenolídeos	Ouabaina em <i>Acokanthera ouabaio</i>	Veneno cardíaco; LD50 em ratos 14 mg kg ⁻¹
Glicosídeos cianogênicos	Amigdalina em <i>Prunus amygdalus</i>	Toxina universal; dose fatal em humanos Ca. 50mg
Terano cumarinas	Xantotoxina em <i>Pastinaca sativa</i>	Molusavicida; tóxico a anfíbios; alergênico em humanos
Glicosinolatos	Sinigrina em <i>Brassica oleracea</i>	Danifica tireóide, fígado e rim de gado
Lípidos	Aucubina em <i>Aucuba japonica</i>	Tóxico a mamíferos, pássaros e insetos
Flavonóides	Rotetona em <i>Derris elliptica</i>	Inseticida e veneno para peixes; LD50 em ratos 2.8 mg Kg ⁻¹
Aminoácidos não proteicos	β-Cianoalanina em <i>Vicia sativa</i>	Neurotoxina LD50 em ratos 13.4 mg Kg ⁻¹
Peptídeos	Viscotoxina em <i>Viscum album</i>	Tóxico a músculos cardíacos em mamíferos
Poliacetilenos	Oenantetoxina	Tóxico a carneiros e gado
Proteínas	Abrina em <i>Abrus precatorius</i>	Dose fatal em humanos 0.5 mg
Quinonas	Hipericina em <i>Hypericum perforatum</i>	Causa eczema em carneiros
Saponinas	Lematoxina em <i>Phytolacca dodecandra</i>	Tóxico a moluscos, LD50 1.5 mg l ⁻¹
Lactonas sesquiterpênicas	Himenoxina em <i>Hymenoxys odorata</i>	Veneno para animais e criação

Adaptado de HARBORNE, 1997.

De acordo com MARTINS (1988), altas taxas de defesa representam baixas taxas de crescimento, e vice-versa, sendo que a adoção de uma dessas opções se dará em função do ambiente, ou seja, se a planta terá mais aptidão para mais crescimento ou mais defesa, lembrando que esses processos não se excluem, sendo que essas opções naturalmente dependem da capacidade genética incorporada em cada vegetal.

HARBORNE (1997) propôs a hipótese do balanço crescimento-diferenciação que se fundamenta na premissa de que existe uma passagem fisiológica entre crescimento-diferenciação, sendo que este último inclui a síntese de metabólitos secundários. Assim, nesta hipótese plantas perenes podem ser divididas em dois grupos: aquelas em que o crescimento é dominante, apresentam um rápido crescimento, com defesas químicas limitadas mas altamente capazes de induzir sistemas de resistência; aquelas em que a diferenciação é dominante, apresentam baixa taxa de crescimento, melhores defesas, com desenvolvimento limitado de sistemas de resistência.

De acordo com essa hipótese são explicáveis as diferenças químicas entre as plantas. Também indica que aumentos nas concentrações de metabólitos secundários podem ser uma resposta às condições de estresse ambiental. Assim, nos ambientes ricos em recursos, há muita competição e o balanço C/N tende a diminuir, pois aumentam os nutrientes, como o N. São produzidos

temporariamente os metabólitos secundários de vias nitrogenadas, e ainda se defendem por meio da “reiteração dos módulos”, isto é, uma folha é predada a planta a repõe. Naqueles ambientes onde há escassez de recursos há predação. Por isso a sobrevivência e o crescimento vão depender da eficiência na retenção e forma de utilização dos recursos disponíveis. Dado o alto balanço C/N, as substâncias utilizadas na defesa são, em geral, os compostos carbônicos, sendo que o processo de diferenciação é o que predomina nesses ambientes. Como a taxa de fotossíntese, comparativamente, não é muito alterada, o excesso de carbono, que não é utilizado no crescimento, em função de sua baixa taxa, é utilizado na defesa química (MARTINS, s.d.).

De acordo com HARBORNE (1997), plantas crescidas em ambientes pobres em nitrogênio e condições de estresse hídrico cessam a produção de folhas novas, sendo que os precursores e a energia desse processo são desviados para o metabolismo secundário, e essas plantas imediatamente se tornam mais resistentes a insetos predadores. Assim as taxas de sobrevivência de larvas são reduzidas a níveis baixíssimos principalmente nas folhas mais novas que têm níveis de terpenos muito mais altos que as folhas velhas.

Esses metabólitos secundários associados à resistência a microrganismos fitopatogênicos, podem ser classificados, de acordo com sua produção, em compostos pré e pós infeccionais. Os

primeiros são metabólitos constitutivos presentes em concentrações tais que impedem o desenvolvimento de microrganismos (proibitinas) ou em concentrações baixas que aumentam rapidamente após o início da infecção (inibitinas). Os compostos pós infeccionais, por sua vez, surgem ou por hidrólise ou oxidação de precursores inativos presentes nas células (pós-inibitinas) ou estão totalmente ausentes nos tecidos da planta sã, sendo sintetizados de novo no local da infecção (fitoalexinas) (DIETRICH, et al, 1987).

Neste processo de indução fitoquímica, as fitoalexinas são produzidas com poucas horas de infecção, no máximo 48 horas da invasão, que tornam as folhas não palatáveis aos herbívoros que então não se alimentam dessas. No caso das inibitinas o efeito dessas sobre a palatabilidade das folhas aumenta com o passar de muitos dias da indução. Considera-se também que alguns vegetais produzem compostos voláteis que atraem insetos parasitóides para as folhas e que esses ao visitar as folhas destroem os herbívoros (HARBORNE, 1997).

Segundo DIETRICH et al (1987), essas fitoalexinas podem ter o seu acúmulo induzido não apenas por organismos vivos mas também por seus produtos (eliciadores) ou por condições de estresse como injúria, frio, luz UV e sais de metais pesados.

Assim, aos poucos, está sendo reconhecido que variações na produção dos metabólitos secundários podem ocorrer ao longo de

diferentes eixos temporais e espaciais, tanto genéticos (indivíduo, população, taxonomia), quanto ecológicos (pressões de variação de clima ou solos, parasitas, predadores, competidores, patógenos) e fisiológicos (estágio de desenvolvimento, ritmo estacional ou circadiano, alocação de energia, hormônios, estado reprodutivo) (BROWN JÚNIOR, 1988).

Os metabólitos que exercem função de proteção das plantas aos herbívoros, geralmente estão localizados na superfície da planta, onde são mais percebidos pelos animais. Estes têm sido detectados em tricomas, na cera e resina de folhas, e exudatos de brotações. Quando presentes nos vacúolos das folhas, especificamente são encontrados nas células da epiderme da superfície superior, e no caso das plantas laticíferas, estão presentes no látex (HARBORNE, 1997). Variações no acúmulo desses metabólitos entre folhas e flores, raiz e caule, ocorrem em função do movimento desses compostos pela planta ao longo do desenvolvimento do vegetal. Assim, por exemplo, os alcalóides são sintetizados na raiz e transportados para as folhas.

Muitos desses compostos secundários produzidos pelas plantas podem também participar em interações na polinização, dispersão de frutos e sementes e simbiose radicular com bactérias (MARTINS, 1988). Esses compostos portanto podem ser produzidos para atração (antocianinas, carotenóides, óleos essenciais) desses polinizadores ou dispersores de estruturas

propagativas, promovendo alterações dessas estruturas em termos de coloração e odores, numa busca constante de garantir a sobrevivência da espécie. Alguns desses compostos secundários também podem ter função de suporte estrutural para as plantas, como as ligninas e lignanas, dentre outras particularidades levantadas ou não ao longo do texto.

De acordo com MANN (1987), algumas interações entre metabólitos secundários nas relações ecológicas que envolvem plantas, animais e microrganismos podem ser estabelecidas: planta-herbívoro, inseto-inseto, planta-planta e planta-microrganismo.

Interação planta-herbívoro

Muitos desses compostos produzidos pelas plantas podem ser repelentes ou tóxicos aos herbívoros ou atrativos desses para viabilização do processo de polinização.

Algumas borboletas da família Danaidaea, têm predileção por espécies de plantas produtoras de cardenolideos que são assimilados no estágio de larva e incorporados no tecido da borboleta adulta que então se torna não palatável para muitos predadores devido a toxicidade desse composto. Esse tipo de comportamento é verificado em algumas espécies de insetos sendo denominado hábito aposemático, que seriam portanto aqueles insetos especialistas em plantas tóxicas e que tendem a concentrar

tais substâncias desagradáveis no seu tegumento ou extremidades, e a ser dotados de cores vistosas, e hábito preguiçoso não para atrair os inimigos, mas para constantemente lembrá-los das experiências traumáticas que passaram quando tentaram atacar tais insetos no passado (BROWN JÚNIOR, s.d.).

Em outras situações a planta pode produzir compostos repelentes aos insetos. Poucas espécies de insetos têm sido encontradas em plantas que contêm nicotina e peretrinas, por exemplo.

Porém ocorrem também as atrações específicas no caso dos polinizadores e também dos predadores de outros insetos.

O sabor é básico em muitas interações planta-animal, bem como o odor. A cafeína e taninos são compostos responsáveis por alterações do paladar das plantas, enquanto os monoterpenos voláteis (geraniol, neral, citral) podem atuar como atraentes e repelentes dos insetos.

Ocorrem também algumas interações hormonais entre plantas e insetos.

Interações inseto-inseto

Os insetos utilizam grande amplitude de pequenos compostos orgânicos voláteis como mediadores de interações intra e interespecíficas. Esses compostos são tipicamente monoterpenos,

Interações planta-microrganismos

Muitas plantas respondem a invasão microbiana produzindo compostos que inibem o crescimento dos patógenos, são as fitoalexinas. Usualmente são produzidas em pequenas quantidades e por um período limitado.

As fitoalexinas englobam vários grupos de substâncias naturais, tais como: terpenos, isoflavonóides, poliacetilenos, podendo-se dizer que as fitoalexinas são características a nível de famílias e que os tipos de compostos produzidos estão intimamente relacionados aos constituintes secundários que ocorrem naturalmente nesses táxons (DIETRICH, 1987).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de espécies vegetais pelo ser humano como alimento, medicamento, matéria-prima para construção de utensílios, talvez seja tão antiga quanto o próprio homem. Acredita-se que tais experiências foram despertadas com o convívio e observações da natureza, particularmente dos animais.

Estes recursos vêm sendo ainda utilizados e é crescente o interesse por pesquisadores e indústrias em verificar e certificar as potencialidades desses vegetais. Estes estudos abrangem várias

áreas de conhecimento, uma vez que se tratando da natureza as relações são complexas e envolvem o todo.

A divisão dos metabólitos vegetais em primários e secundários, onde os primários seriam os essenciais mantenedores das atividades básicas e vitais, e, os secundários que não seriam simplesmente os menos importantes mas talvez não vitais para as espécies deve ser mais discutida. De acordo com MARTINS et al (1994), o metabolismo secundário diferencia-se do primário basicamente por não apresentar reações e produtos comuns à maioria das plantas, sendo específico de determinados grupos.

A distinção dessas duas vias metabólicas é pouco clara. A classificação dos compostos em primários e secundários depende muito da importância de determinado composto para determinada espécie, assim como do estágio de desenvolvimento.

Diferentes rotas metabólicas e enzimas são utilizadas pelos vegetais, e poucas dessas, bem como poucos metabólitos já foram identificados. Na vasta quantidade de espécies, com suas particularidades, cada uma é um universo bastante complexo.

Os precursores dos metabólitos secundários: ácido shiquímico, aminoácidos e acetato, definem três pontos de origem e produção (MANN, 1987). Porém ao se estudar estas rotas, verifica-se que ocorrem também “pontos de interseção” e que os eventos não ocorrem tão separadamente, como se propõe ao dividi-los.

divergentes, conforme a linha de pesquisa adotada pelo pesquisador. Porém, estes caminhos e deduções vagas também são importantes para que no final de tanto esforço, concluir-se que nada é sabido e entendido, frente a natureza. Esta situação persistirá enquanto a visão unilateral e fragmentada existir, frente a processos tão dinâmicos, complexos e holísticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTLEY, G. E., SCOLNIK, P. A. Plant carotenoids: pigments for photoprotection, visual attraction, and human health. **The Plant Cell**, v.7, p.1027-1038, 1995.
- BRAMLEY, P. M. Isoprenoid metabolism. In: DEY, P. M., HARBORNE, J. B. **Plant biochemistry**. San Diego, Califórnia: ACADEMIC PRESS, p.417-434, 1997.
- BROWN JÚNIOR, K. S. Engenharia ecológica: novas perspectivas de seleção e manejo de plantas medicinais. **Acta Amazônica**, v.18, n.1-2, p.291-303, 1988 (Suplemento).
- BROWN JÚNIOR, K. S. Insetos aposemáticos: indicadores naturais de plantas medicinais. In: SIMPÓSIO DE PLANTAS MEDICINAIS DO BRASIL, 5, p.189-200, [s.d.].
- DEWICK, P. M. The biosynthesis of shikimate metabolites. **Nat. Prod. Res.**, v.12, n.2, p.101-133, 1995.
- DIETRICH, S. M. C., YOUNG, M. C. M., NACCACHE, V. M., BRAGA, M. R., GOTTLIEB, O. R. Fitoalexinas. **Ciência e Cultura**, v.39, n.2, p.149-152, 1987.
- DIXON, R. A., PAIVA, N. L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. **The Plant Cell**, v.7, p.1085-1097, 1995.

- FLOSS, H. G. Natural products derived from unusual variants of the shikimate pathway. **Nat. Prod. Res.**, v.14, n.5, p.433-452, 1997.
- HARBORNE, J. B. Biochemical plant ecology. In: DEY, P. M., HARBORNE, J. B. **Plant biochemistry**. San Diego, California; ACADEMIC PRESS, p.503-515, 1997.
- HERRMANN, K. M. The shikimate pathway: early steps in the biosynthesis of aromatic compounds. **The Plant Cell**, v.7, p.907-919, 1995.
- HOLTON, T. A., CORNISH, E. C. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. **The Plant Cell**, v.7, p.1071-1083, 1995.
- KAYS, S. T. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI, p.143-255, 1991.
- MANN, J. **Secondary metabolism**. New York: Oxford University, 2ed., 1987, 374p.
- MARTINS, E. R., CASTRO, D. M., CASTELLANI, D. C., DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa, MG:UFV, 1994. 220p.
- MARTINS, E. R. **Ecologia e produção de metabólitos secundários**. s.p.

PFANDER, H., STOLL, H. Terpenoid glycosides. **Nat. Prod. Rep.**, v.8, n.1, p.69-95, 1991.

STRACK, D. Phenolic metabolism. In: DEY, P. M., HARBORNE, J. B. **Plant biochemistry**. San Diego, California: ACADEMIC PRESS, p.387-416, 1997.

WARD, R. S. Lignans, neolignans and related compounds. **J. Nat. Prod.**, v.14, n.1, p.43-74, 1997.

WHETTEN, R., SEDEROFF, R. Lignin biosynthesis. **The Plant Cell**, v.7, p.1001-1013, 1995.

