

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Alelopatia

Princípios Básicos e Aspectos Gerais

Editores Técnicos

Antônio Pedro da Silva Souza Filho
Sérgio de Mello Alves

Belém, PA
2002

Capítulo 2

Natureza Química dos Agentes Alelopáticos

Sérgio de Mello Alves, Lourivaldo da Silva Santos

O conhecimento da natureza química dos compostos alelopáticos é de grande importância para o entendimento do fenômeno alelopatia. Nesse sentido, os pesquisadores empenhados nos estudos das substâncias aleloquímicas têm procurado isolar e identificar suas estruturas químicas. Até um passado recente, mais de 4.500 terpenóides, 700 policetonas, 750 poliacetilenos, 500 fenilpropanóides, 1.200 flavonóides, 400 aminoácidos não-protéicos, 100 glucosinatos, 50 glucosídeos cianogênicos, 100 aminas e mais de 400 alcalóides haviam sido descritos por diferentes pesquisadores (Wink & Twardowski, 1992). Alguns desses compostos são usados pelo homem nas mais variadas formas como: farmacológicos; aromatizantes; corantes, estimulantes; alucinógenos, venenos, pesticidas ou como estrutura precursora para a síntese de outras substâncias orgânicas mais poderosas, e desta maneira, plantas aleloquímicas são freqüentemente importante economicamente.

Embora um número considerável de produtos secundários das plantas tenha sido identificado, o total numérico de substâncias químicas com atividades alelopáticas pode atingir a elevada cifra de 400 mil (Bansal & Bhan, 1993). Alguns desses produtos ou mesmo seus análogos poderão fornecer novas e importantes fontes de substâncias químicas para uso futuro na agricultura ou em outras demandas da humanidade.

Várias substâncias químicas implicadas em alelopatia têm sido discutidas em detalhe por autores como Rice (1974; 1979, 1984) e Putnam & Tang (1986). Em si, essas substâncias são

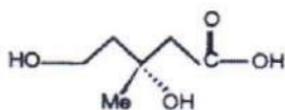
consideradas metabólitos secundários. Whittaker & Feeny (1971) classificam esses produtos secundários em cinco classes principais: terpenóides, esteróides, alcalóides, acetogeninas e fenilpropanóides. Rice (1984) estabeleceu uma classificação mais ampla dessas substâncias, envolvendo as seguintes categorias:

- ácidos orgânicos solúveis em água, álcool de cadeia linear, aldeídos e cetonas;
- lactonas insaturadas simples;
- ácidos graxos de cadeia longa;
- quinonas;
- fenóis simples, ácidos benzóicos e derivados;
- ácidos cinâmicos e derivados;
- flavonóides;
- taninos;
- terpenóides e esteróides;
- aminoácidos e polipeptídeos;
- alcalóides e cianoidrinas;
- glicosídeos;
- purinas e nucleotídeos.

Terpenóides e esteróides

Os terpenóides ou isoprenóides são substâncias químicas formadas a partir da biossíntese de plantas ou microorganismos, via rota do mevalonato (a), que é o intermediário chave na formação dos isoprenóides biológicos, substâncias com cinco unidades de carbono, que são (IPP) isopentenilpirofosfato (b) e o (DMAPP) dimetilalilpirofosfato (c). A condensação cabeça-cauda de sucessivas unidades de IPP e DMAPP produz o esqueleto de

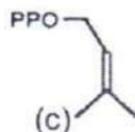
monoterpenóides (C_{10}), sesquiterpenóides (C_{15}) e diterpenóides (C_{20}). Já os triterpenóides (C_{30}) e os tetraterpenóides (C_{40}) são produzidos por condensação não usual cabeça-cauda de, respectivamente, duas unidades de farnesilpirofosfato (d) e de duas unidades de geranylgeranylpirofosfato (e). Ver esquema abaixo.



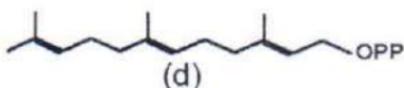
(a)



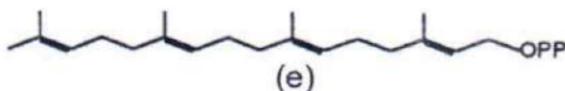
(b)



(c)



(d)



(e)

Atualmente, algumas centenas de monoterpenos são conhecidos. São substâncias contendo 10 unidades de carbono nas suas estruturas, apresentando esqueleto acíclico, monocíclico e bicíclico, os quais são biossinteticamente formados a partir de duas unidades de isoprenos (Fischer, 1986).

Devido à relativa característica não-polar e ao baixo ponto de ebulição dos monoterpenos, o grupo tem sido classificado como volátil. Também possuem baixa solubilidade em água, em comparação aos outros produtos naturais orgânicos mais polares. A solubilidade em água entre os monoterpenos varia consideravelmente desde <10 ppm até a 6.990 ppm. Os

monoterpenos não-oxigenados têm baixa solubilidade, todos inferiores a 35 ppm, porém os monoterpenos oxigenados, tais como aldeídos, cetonas, álcoois e éter têm solubilidade 10 a 100 vezes maior do que os não oxigenados, com similar esqueleto (Tabela 1).

Os monoterpenos oxigenados exibem uma ampla solubilidade em água quando comparado a compostos fenólicos, ácidos orgânicos e juglona (52 ppm), ácido ferúlico (174 ppm) e ácido hidroxâmico (3490 ppm) (Fischer et al. 1994).

Os efeitos fitotóxicos dos monoterpenos variam tanto quanto sua solubilidade em água, embora, em muitos casos, a atividade dos compostos esteja abaixo de seu nível de solubilidade (Fischer et al., 1994). Esses dados mostram que generalizações a cerca das atividades biológicas e funções ecológicas dos monoterpenos baseadas nas diferenças na solubilidade em água, necessitam ser reavaliadas.

A variedade de estrutura entre os sesquiterpenos, os quais contêm três unidades isoprênicas, é consideravelmente maior que na série dos monoterpenos. Esse aumento de carbono no esqueleto é expresso num aumento no número de substâncias conhecidas. Entre os sesquiterpenos, somente lactonas acima de 2.000 são conhecidas (Fischer, 1986). Algumas dessas têm sido apresentadas como possuidoras das seguintes propriedades biológicas: produzem alergia e dermatites em humanos; têm propriedades venenosas para animais domésticos; são inibitórias para a alimentação de insetos e para o crescimento microbiano; são inibitórios do crescimento de plantas e possuem propriedades antibióticas (Lotina-Hensen et al. 1992).

Tabela 1. Solubilidade de monoterpenos em água.

Nome do composto	Solubilidade em água (ppm)
(1S)-endo - (-) - Borneo	274
Acetato de Bornila	23
Calamitona	972
Desacetil de Calamitona	1005
Canfeno	23
(1S) - (-) - Cânfora	550
(1R) - (+) - Cânfora	531
(-) - Carveol	1115
(S) - (+) - Carvona	596
1,8 - Cineol	332
p-Cimeno	15
(S) - (+) - Diidrocarveol	727
(S) - (+) - Diidrocarvona	461
(+) - Evadona	409
Geraniol	409
Acetato de Geranila	18
Limoneno	13
Acetato de Linalila	<10
Mentol	183
Mentona	155
Mirceno	<10
(1R) - (-) Mirtenal	305
(1R) - (-) Mirtenol	1010
Nerol	332
α - Pineno	22
β - Pineno	32
(1R) - (+) - Pulegona	385
(+) - Sabineno	<10
α - Terpineno	14
4 - Terpineol	1360
(1S) - (-) - Verbenona	6990

Fonte: Fischer et al. (1994).

O núcleo básico dos esteróides é o mesmo dos triterpenóides tetracíclicos, porém apenas dois grupos metil estão ligados ao sistema de anéis (Robinson, 1983). Poucos esteróides estão implicados em alelopatia, entretanto, reconhece-se que a digitoxigenina e a estrofantidina são dois bem conhecidos exemplos de esteróides com forte atividade antimicrobiana. Na Fig. 1 são apresentadas as estruturas de alguns representantes dessas classes.

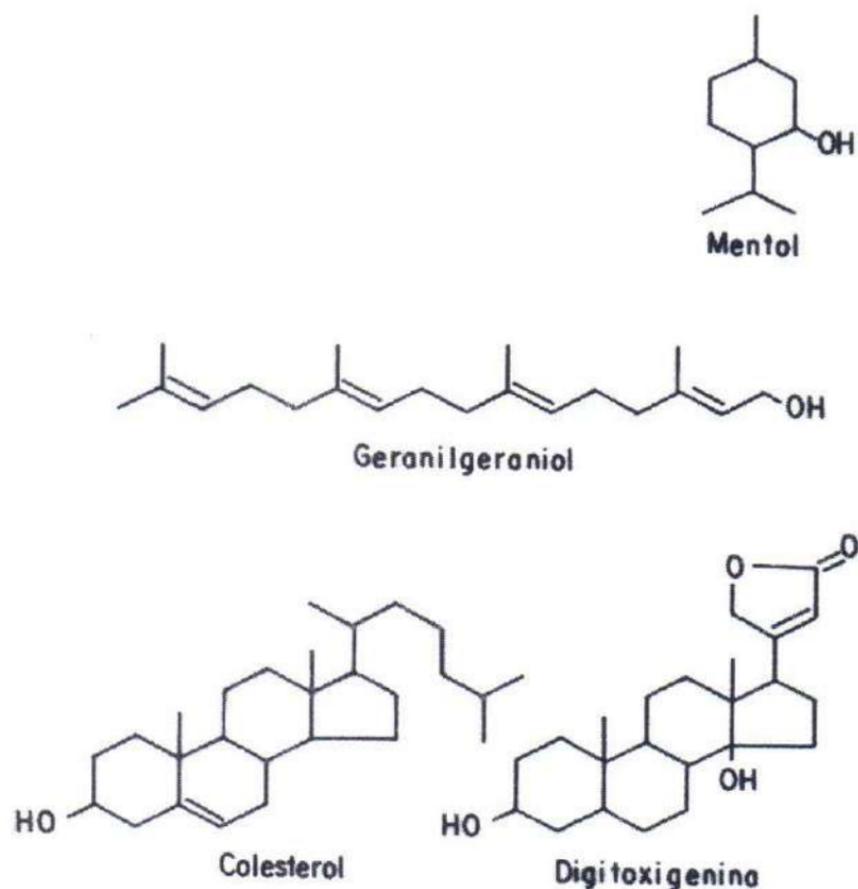


Fig. 1. Estrutura química de alguns representantes da classe dos terpenóides e esteróides.

Alcalóides

Os alcalóides encontrados primariamente nas plantas superiores estão agrupados devido conterem nitrogênio básico (freqüentemente um anel heterocíclico) e não porque compartilham a mesma origem metabólica. Contudo, a origem dos alcalóides de relativamente poucos aminoácidos permite sua classificação em três grandes grupos. Os simples, são aqueles derivados dos aminoácidos alifáticos lisina e ornitina, tais como os alcalóides piperidínicos e pirrolidínicos (ex. igrina), como também os alcalóides tropano, tais como a tropina e a cocaína (Hendrickson, 1965).

O segundo grande grupo dos alcalóides é derivado da fenilalalina e da tirosina. A condensação de uma amina e uma molécula de aldeído, derivados desses aminoácidos, leva aos alcalóides benzil-isoquinolínicos, tais como laudanosina, papaverina, berberina, morfina e tubocurarina – veneno (curare) mais potente da América do Sul (Hendrickson, 1965).

Os alcalóides do último dos principais grupos são derivados do triptofano. O núcleo indol pode ser detectado em representatividade na psilocibina, bufotenina, reserpina, estriquinina e yohimbina.

Os alcalóides, como um grupo, são distinguidos da maioria das outras classes de produtos naturais por serem básicos e ocorrerem normalmente nas plantas como sais de ácidos orgânicos. A cafeína e várias outras substâncias são freqüentemente incluídas nos alcalóides, porém são incluídas nessa classe com as purinas, por apresentarem o anel básico da purina em sua estrutura (Robinson, 1983). Os alcalóides são mais conhecidos por seus efeitos fisiológicos sobre o homem e seu uso farmacológico. As estruturas de alguns alcalóides e aminoácidos são apresentados na Fig. 2.

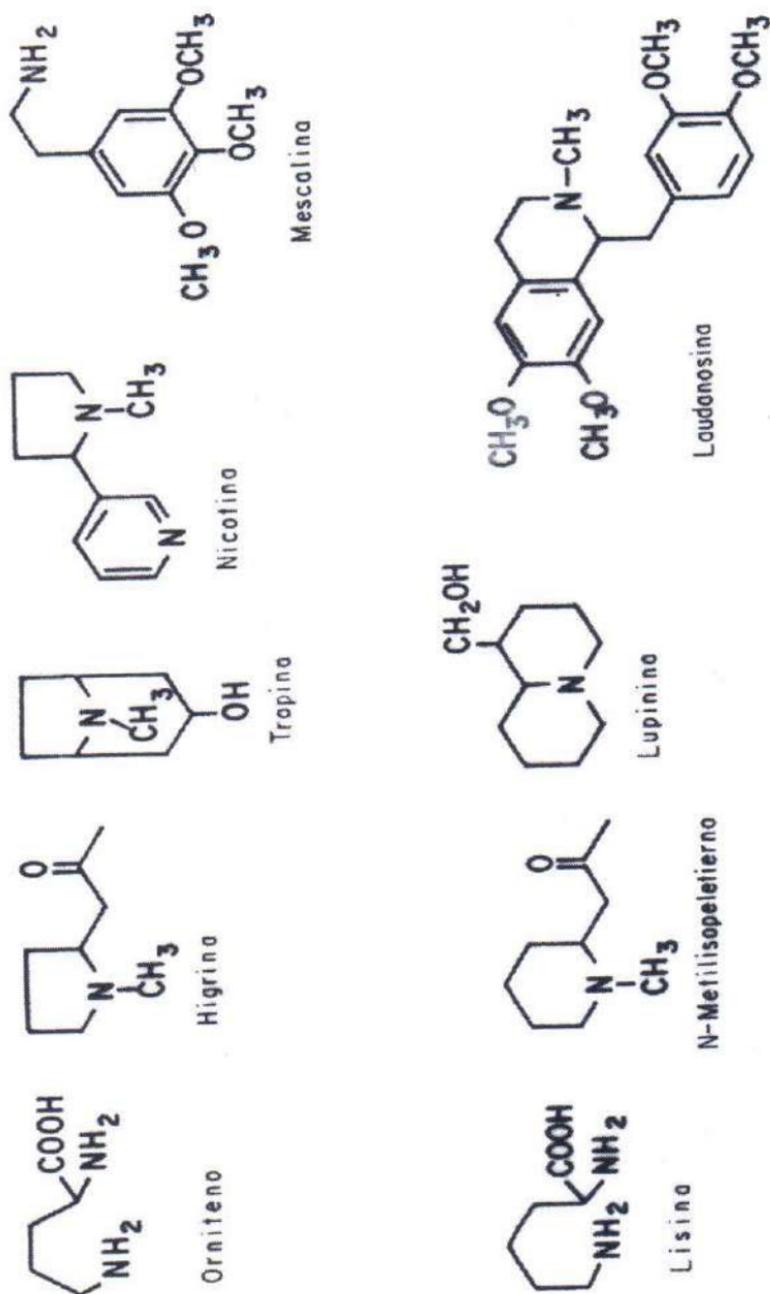


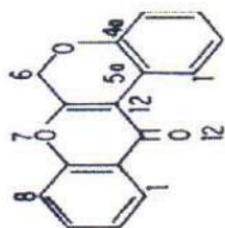
Fig. 2. Estrutura química de alguns representantes da classe dos alcalóides e aminoácidos.

Flavonóides

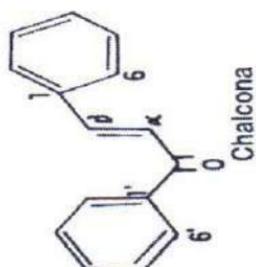
Possuem um esqueleto básico $C_6-C_3-C_6$ no qual um dos anéis aromáticos (A) é de origem policetílica, e a unidade C_6-C_3 restante tem origem no chiquimato (Neish, 1964). São substâncias bastante comuns nas plantas superiores e têm sido relacionadas em alelopatia. Numerosos flavonóides, e seus glicosídios, são produzidos por espécies de gramíneas nativas e são inibitórios para a germinação de sementes e para o crescimento de bactérias nitrificantes (Rice, 1987).

O fato de as substâncias químicas pertencentes à classe dos flavonóides estarem envolvidas em alelopatia é conhecido desde o início dos anos 80. *Agropyron repens* (L.), uma agressiva invasora perene tem sido apresentada como possuidora de atividade alelopática, e estudos desenvolvidos com essa invasora têm revelado que sua atividade alelopática está relacionada com os flavonóides, incluindo tricina (Weston et al., 1981).

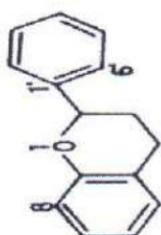
Moreland & Novitzky (1987) testaram a ação de vários aleloquímicos sobre o transporte de elétrons e fosforilação em cloroplastos e mitocôndrias. Os flavonóides foram os mais ativos inibidores quando comparados aos ácidos benzóicos, benzaldeídos, ácidos cinâmicos e cumarinas. Os autores hipotetizaram que os flavonóides alteram a permeabilidade da membrana da mitocôndria e do cloroplasto. Tang & Zhang (1986) encontraram no tegumento das sementes do feijão “mung” grandes quantidades de glucosilflavonóides, os quais podem lixiviar durante a germinação das sementes e inibir tanto a germinação das sementes como o crescimento de plântulas. Vitexina e isovitexina foram os dois principais flavonóides detectados nos exsudados das sementes. As substâncias químicas pertencentes à classe dos flavonóides podem ter variada, porém forte, atividade biológica, as quais poderiam ser capitalizadas para usos, inclusive como herbicida. Na Fig. 3, algumas estruturas de representantes dos flavonóides são apresentadas.



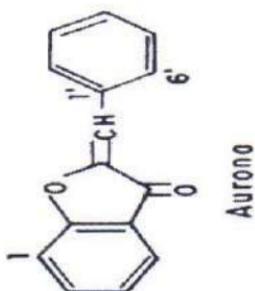
Rotenoide



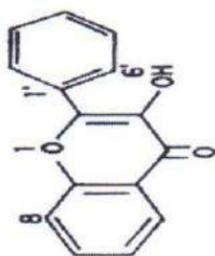
Chalcona



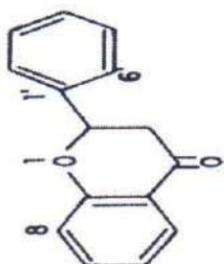
Flavono



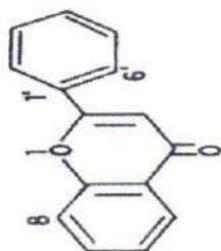
Aurono



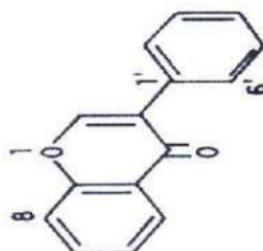
Flavonol



Flavanono



Flavono



Isoflavono

Fig. 3. Estrutura química de alguns representantes da classe dos flavonóides.

Fenilpropanóides

Têm origem na fenilalanina e seus congêneres, os quais são derivados de carboidratos simples, via ácido chiquímico (Birch, 1963). A desaminação da fenilalanina e tirosina, por exemplo, leva aos ácidos cinâmico e p-cumárico, respectivamente (Harbone, 1967). A rota biossintética do ácido chiquímico também dá origem a uma larga variedade de fenóis simples como o ácido gálico (Bullock, 1965). Os fenilpropanóides mais voláteis são responsáveis pelo odor e sabor de muitas forrageiras e espécies, tais como os cravos (Robinson, 1967). Na Fig. 4 são apresentados alguns representantes dessa classe de aleloquímicos.

Acetogeninas

Compreendem mais de mil compostos, inicialmente formados pela condensação de unidades acetil (iniciador) e malonil (continuador), formando cadeias lineares de poliketóides, onde os grupos carbonil e metileno são alternados. A biossíntese das gorduras é similar, porém os grupos carbonil são reduzidos a grupo metileno, formando longas cadeias carbônicas saturadas (Hendrickson, 1965). Alguns representantes dessa classe são apresentados na Fig. 5.

Quinonas

A juglona é a única quinona identificada como substância alelopática produzida pelas plantas superiores (Rice, 1984). É produzida por árvores de noqueira (*Juglans nigra*), e tem sido apresentada como sendo um potente inibidor. Numerosos antibióticos produzidos por microorganismos são quinonas, dentre os quais destacam-se as tetraciclinas (Whittaker & Feeny, 1971).

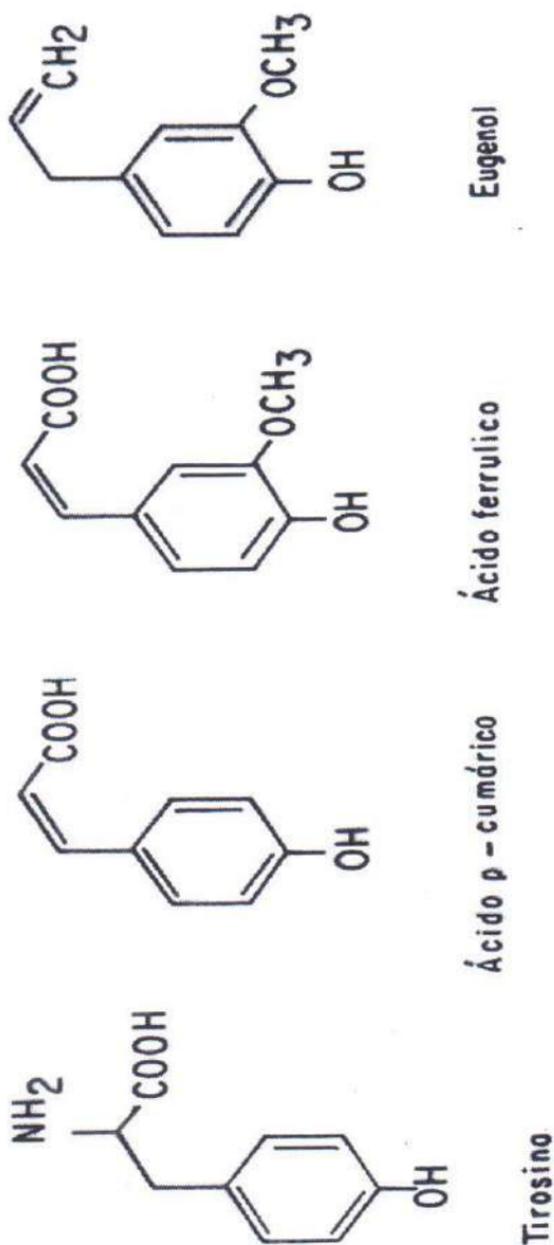
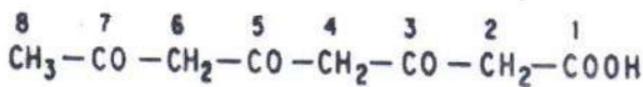


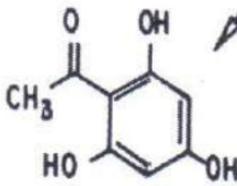
Fig. 4. Estrutura química de alguns representantes da classe dos fenilpropanóides.



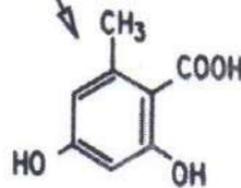
Grupos metílenos

1 - 6

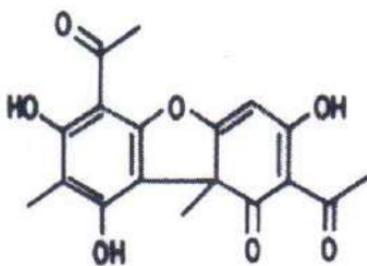
2 - 7



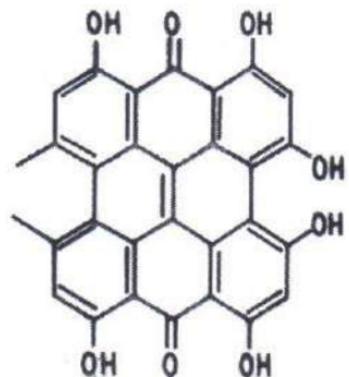
Floracetofenona



Ácido Orselínico



Ácido Úsnico



Hiperecína

Fig. 5. Estrutura química de alguns representantes da classe das acetogeninas.

Taninos

Compreendem dois grupos: os hidrolisáveis e os condensados. Ambos possuem um sabor adstringente e tom de couro. Os primeiros contêm ligações ésteres, os quais podem ser hidrolisados pelo aquecimento com ácido mineral diluído. Porém, isso não acontece com os taninos condensados. Alguns taninos hidrolisáveis são misturas complexas de vários ácidos fenólicos.

Aparentemente, os taninos condensados originam-se pela polimerização oxidativa das catequinas e flavona – 3,4 dióis (Brown, 1964). Esta última possui grupos –OH nas posições 3 e 4 no anel pirano. Os taninos condensados são apenas parcialmente clivados pelo aquecimento drástico com ácidos concentrados para liberar cloretos de cianidinas, as quais têm uma cor vermelha brilhante e alguns polímeros vermelho-marrons freqüentemente denominados flobafenos (Robinson, 1983). Obviamente, existe um vasto número de taninos condensados em função do comprimento das cadeia de polímeros isolados.

Pelas informações disponíveis na literatura, existem menos informações a respeito do envolvimento dos taninos condensados em alelopatia do que os hidrolisáveis. Harris & Burns (1970) relatam que os taninos nos grãos de certos híbridos de sorgo inibem a germinação das sementes na espiga e o ataque por fungos. Rice & Panchoy (1973) analisaram os taninos em gramíneas e encontraram apenas os condensados.

Entre os diferentes efeitos alelopáticos produzidos pelos taninos condensados e/ou os hidrolisáveis, é relatada a inibição da nitrificação, são apresentados ainda como inibidores de bactérias nitrificantes em diferentes espécies de gramíneas, e também são inibidores das nitrosomonas (Basaraba, 1964; Rice & Panchoy, 1973; Lodhin & Killingbeck, 1980).

Os taninos condensados (usualmente referidos às proantocianinas) são encontrados em todas as classes de plantas, estando, aparentemente, envolvidos com o desenvolvimento das plantas, mais propriamente com a vascularização (Swain, 1977). Eles estão principalmente confinados às espécies florestais, porém são encontrados em gramíneas e outras forrageiras. Os taninos hidrolisáveis, por sua vez, ocorrem apenas nas plantas dicotiledôneas. Eles têm a vantagem de serem de duas a cinco vezes mais efetivos em peso como as proteínas precipitantes do que as proantocianinas e são biodegradáveis (Swain, 1974). Alguns representantes dessa classe de aleloquímicos são apresentados na Fig. 6.

Aminoácidos e polipeptídeos

Os aminoácidos são ácidos carboxílicos, os quais têm pelo menos um grupo amino, e os peptídios são polímeros de duas ou mais moléculas conectadas através de ligações peptídicas (C-N) (Robinson, 1983). Os aminoácidos podem ser divididos em dois grupos principais: um que é encontrado em todo sistema vivo, em estado livre ou condensado como peptídio, enquanto que os representantes do segundo grupo ocorrem em um número limitado de organismos (Rice, 1984).

Existem poucos exemplos nos quais os aminoácidos têm sido relacionados com alelopátia, e em muitos casos não tem havido a identificação dos mesmos, como é o caso dos trabalhos de Greesel & Holm (1964) e outros. Certas raças de *Rhizobium japonicum* produzem um aminoácido denominado *Rhizobitoxine*, identificado como o ácido trans-2-amino-4-(2-amino-3-hidroxi-propoxi)-3-butenóico, o qual inativa, irreversivelmente, a β -cistationase, inibindo a conversão da metionina em etileno. Na Fig. 2 verificam-se as estruturas de alguns aminoácidos.

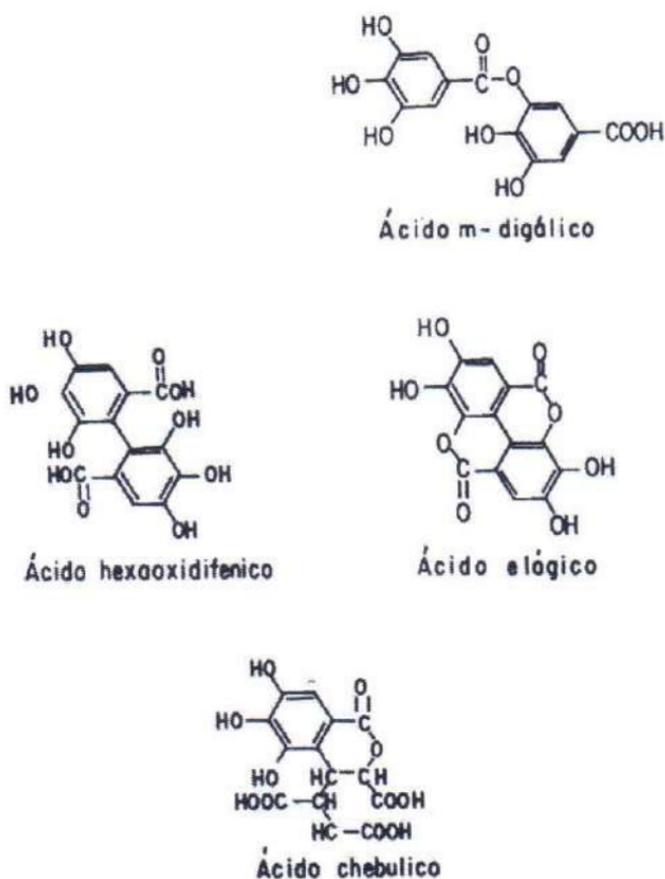


Fig. 6 . Estrutura química de alguns representantes da classe dos taninos.

Cumarinas

As cumarinas são lactonas do ácido *O*-hidroxicinâmico. Vários tipos de cadeias laterais podem estar presentes, sendo alguns isoprenóides bastante comuns. As cumarinas ocorrem em todas as partes das plantas e estão largamente distribuídas no reino vegetal. Várias cumarinas estão envolvidas em atividades alelopáticas. Elas são apontadas como inibidoras potentes tanto do crescimento de plantas como da germinação de sementes e de bactérias nitrificantes (Rice & Pancholy, 1973; Evenari, 1949). Cumarina, esculina e psoraleno (uma furanocoumarina) são todos potentes inibidores da germinação de sementes (Rice, 1984).

Os inibidores desse grupo são produzidos por várias espécies de leguminosas e de grãos de cereais. Psoraleno, uma furanocoumarina, a qual foi isolada de sementes de *Psoralea subcaulis* (Purs.) e de frutos de várias espécies, pode inibir a germinação de sementes de alface em concentrações tão baixas quanto 0,001 ppm (Baskin et al., 1967). Essa substância também é antimicrobiana. A atividade extremamente alta em membros das cumarinas indica que eles poderiam ser excelentes fontes de herbicida. Entretanto, existe evidências de que aparentemente eles também causam problemas de toxicidade a mamíferos. Na Fig. 7 são apresentados, alguns representantes dessa classe de aleloquímicos.

Grupos cianogênicos

Numerosas famílias e espécies de plantas são cianogênicas. Produzem glicosídeos ou lipídios contendo cianeto, os quais quando hidrolisados liberam HCN. As substâncias cianogênicas relacionadas em alelopátia são glicosídeos, as quais, por hidrólise, liberam outros fragmentos além do cianeto, que também contribui para a toxicidade. Dhurrin, um glicosídeo cianogênico de alta toxicidade aos mamíferos, existe em muitos tecidos e em vários estágios de crescimento de espécies de plantas do gênero *Sorghum*.

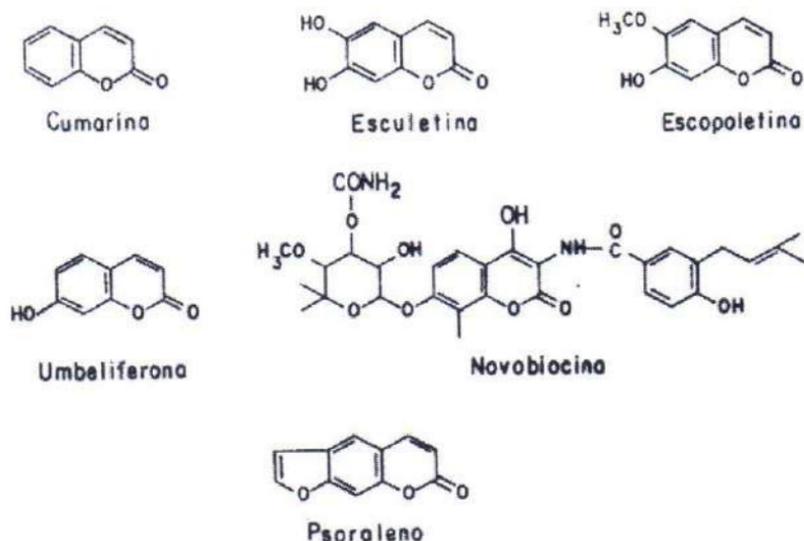


Fig. 7. Estrutura química de alguns representantes da classe das cumarinas.

Etileno

O gás etileno ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$) é liberado pelo tecido de muitas plantas e é produzido por frutos maduros em quantidades relativamente altas. Por exemplo, frutos de macieiras (*Malus sylvestris* Mill.) podem produzir até 11 mL/kg, a cada dia (Hansen, 1945). Um dos mais promissores uso do etileno (e talvez de outros produtos naturais) é a estimulação da germinação de sementes de plantas daninhas. Até recentemente, apenas dois estimulantes da germinação, estrigol e acetato de estrigol haviam sido identificados. Esses compostos e seus análogos são caros para síntese e podem não persistir no solo por períodos longos. Egley & Dole (1972) demonstraram que o etileno poderia estimular a invasora *Striga asiatica* (L.) a germinar na ausência de um

hospedeiro. Esse gás, a 1,5 kg/ha, está sendo utilizado atualmente, eficientemente como uma injeção para promover a germinação das sementes de *S. asiatica*, levando ao esgotamento o número de sementes dormentes no solo (Epple, 1975).

A persistência em longo prazo de sementes viáveis de invasoras, virtualmente assegura que o problema invasora ocorrerá nas áreas agricultáveis a cada ano. O uso de produtos naturais para quebrar a dormência ou estimular a germinação dessas sementes em épocas não propícias para assegurar a sobrevivência, poderia merecer atenção especial como estratégia de manejo dos ecossistemas agrícolas. Recentemente, um estimulante da germinação originário de um hospedeiro natural, sorgo, para *S. asiatica* foi identificado (Chang et al., 1986).

Poliacetilenos

Esse grupo de substâncias químicas está largamente distribuído na família de plantas Compositae, muitas das quais são importantes invasoras eleitas, por serem alelopáticas. Towers & Wat (1978), citados por Stevens (1986), revisaram a atividade biológica dessas substâncias e encontraram-nas por serem tóxicas a uma variedade de organismos. Segundo esses autores algumas das atividades biológicas associadas à Compositae, que teriam sido atribuídas aos sesquiterpenos lactonas, poderiam ser efeitos dos poliacetilenos.

Stevens (1986) isolou cinco poliacetilenos puros de plantas da invasora *Centaurea repens* L., um dos quais promoveu forte fitotoxicidade em uma série de bioensaios. O exame do solo em torno das raízes dessa planta indicou que a substância estava presente ao redor de 4 a 5 ppm no solo. Todos os poliacetilenos isolados eram derivados C₁₃, sendo que cada um continha um grupo tienila.

Referências Bibliográficas

- BANSAL, G.L.; BHAN, V.M. Status of research on allelopathy and future scop of work in Indian. **Indian Journal of Agriculture Science**, v.63, n.12, p.769-776, 1993.
- BASARABA, J. Influence of vegetable tannins on nitrification in soil. **Plant and Soil**, v.21, p.8-16, 1964.
- BASKIN, J.M.; LUDLOW, C.J.; HARRIS, T.M.; WOLF, F.T. Psoralen, an inhibitor in the seeds of *Psoralea subacaulis* (Leguminosae). **Phytochemistry**, v.6, p.1209, 1967.
- BIRCH, A.J. **Chemical plant taxonomy**. New York: Academic Press, 1963. 141p.
- BROWN, S.A. Lignin and tannin biosynthesis. In: HARBONE, J.B. (Ed.). **Biochemistry of phenolic compounds**. New York: Academic Press, 1964. p.361-398.
- BULOCK, J.D. **The biosynthesis of natural products**. New York: McGraw-Hill, 1965. 420p.
- CHANG, M.; NETZLY, D.H.; BUTLER, L.G.; LYNN, D.G. Chemical regulation of distance: characterization of the first natural host germination stimulant for *Striga asiatica*. **Journal of American Chemical Society**, v.108, p.7850-7860, 1986.
- EGLEY, G.H.; DOLE, J.E. Ethylene, 2-chloroethyl phosphonic acid and witchweed seed germination. **Annual Meeting South. Weed Science Society**, Proceedings...23 th, v.2, p. 372. 1972.
- EPPLE, R.E. Ethylene: a witchweed seed germination stimulant. **Weed Science**, v.23, p.433-436, 1975.
- EVENARI, M. Germination inhibitors. **Botanical Review**, v.15, p.153-194, 1949.

FISCHER, N.H. The function of mono and sesquiterpenes as plant germination and growth regulation. In: PUTNAM, A.R.; TANG, C.S (Ed.). **The science of allelopathy**. New York: J. Wiley, 1986. P.203-218.

FISCHER, N.H.; WILLIAMSON, G.B.; WEIDENHAMER, J.D.; RICHARDSON, D.R. In search of allelopathy in the Florida scrubs: the role of terpenoids. **Journal of Chemical Ecology**, v.20, n.6, p.1355-1380, 1994.

GREESEL, J.B.; HOLM, L.M. Chemical inhibition of crop germination by weed seeds and the nature of inhibition by *Abutilon theophrasti*. **Weed Science**, v.4, p.44-53, 1964.

HANSEN, E. Quantitative study of ethylene production in apple varieties. **Plant Physiology**, v.20, p.631-652, 1945.

HARBONE, J.B. **Comparative biochemistry of the flavonoids**. New York: Academic Press, 1967, 320p.

HARRIS, H.B.; BURNS, R.E. Influence of tannin content on preharvest seed germination in *sorghum*. **Agronomy Journal**, V.62, P.835-836, 1970.

HENDRICKSON, J.B. **The molecules of nature**. New York: Benjamim, 1965. 342p.

LODHI, M.A.K.; KILLINGBECK, K.T. Allelopathic inhibition of nitrification and nitrifying bacteria in a ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl.) community. **American Journal of Botany**, v.67, p.1423-1429, 1980.

LOTINA-HENNSSEN, B.; BERNAL-MORALES, C.; VIVAR, A.R.; PEREZ, A.L.C.; CASTRO, R.A.; AGUILAR-MARTINEZ, M. Inhibition of oxygen evolution by Zaluzanin-C. **Journal of Chememical Ecology**, v.18, n.11, p.1891-1900, 1992.

MORELAND, D.E.; NOVITZKY, W.P. Effects of phenolic acids, coumarins, and flavonoids on isolated chloroplasts and mitochondria. In: WALLER, G.R. (Ed.). **Allelochemicals: role in agriculture and forestry**. Washington: American Chemical Society, 1987. p.247-261.

NEISH, A.C. **Biochemistry of phenolic compounds**. New York: Academic Press, 1964. 295p.

PUTNAM, A.R.; TANG, C.S. Allelopathy: state of the science. In: PUTNAM, A.R.; TANG, C.S. (Ed.). **The science of allelopathy**. New York: John Wiley & Sons. 1986. p.1-19.

RICE, E.L. **Allelopathy**. New York: Academic Press. 1974. 353p.

RICE, E.L. **Allelopathy**. New York: Academic Press. 1984. 422p.

RICE, E.L. Allelopathy: an overview. In: WALLER, G.R. **Allelochemical, role in agriculture and forestry**. Washington, D.C.: American Chemical Society, 1987. p.7-22. (ACS. Symposium Series, 330).

RICE, E.L. Allelopathy: na update. **Botanical Review**, v.45, p.15-109, 1979.

RICE, E.L.; PANCHOLY, S.K. Inhibition of nitrification by climax ecosystems. II. Additional evidence and possible role of tannins. **American Journal of Botany**, v.60, p.691-702, 1973.

ROBINSON, T. **The organic constituents of higher plants**. 2.ed. Minneapolis: Burgess. 1967. 298p.

ROBINSON, T. **The organic constituents of higher plants**. 5. ed. Massachusetts: Cordus Press, 1983. 342p.

STEVENS, K.L. Polyacetylenes as allelochemicals. In: PUTNAM, A.R.; TANG, C.S. (Ed.). **The science of allelopathy**. New York: J. Wiley. 1986. p.219-228.

SWAIN, T. Biochemical evolution in plant. In: FLORKIN, M.; STOTZ, E.H. (Ed.). **Comprehensive biochemistry**. Amsterdam: Elsevier. 1974. p.125-302.

SWAIN, T. Secondary compounds as protective agents. **Annual Review of Plant Physiology**, v.28, p.479-501, 1977.

TANG, C.S.; ZHANG, B. Qualitative and quantitative determination of the allelochemical sphere of germinating mung bean. In: PUTNAM, A.R.; TANG, C.S. (Ed.). **The science of allelopathy**. New York: J. Wiley, 1986. p.227-242.

WESTON, L.A.; BURKE, B.A.; PUTNAM, A.R. Isolation, characterization, and activity of phytotoxic compounds from quackgrass (*Agropyron repens* (L.) Beauv.). **Journal of Chemical Ecology**, v.13, p.403-421, 1981.

WHITTAKER, R.H.; FEENY, P.P. Allelochemies: chemical interaction between species. **Science**, v.171, p.757-770, 1971

WINK, M.; TWARDOWSKI, T. Allelochemical properties of alkaloids. Effects on plants, bacteria and biosynthesis. In: RIZVI, S.J.H.; RIZVI, V. (Ed.). **Allelopathy**. New York: Chapman & Hall, 1992. Cap. 10, p.129-150.