



Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus "José Santilli Sobrinho"

ANA PAULA DIAS DOS SANTOS

**A ALELOPATIA E OS EFEITOS DOS ALELOQUÍMICOS LIBERADOS
DURANTE A GERMINAÇÃO DAS SEMENTES**

Assis
2010

ANA PAULA DIAS DOS SANTOS

A ALELOPATIA E OS EFEITOS DOS ALELOQUÍMICOS LIBERADOS
DURANTE A GERMINAÇÃO DAS SEMENTES

Trabalho de conclusão de curso de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação

Orientador: Prof^o. Ms. Gilcelene Bruzon

Área de Concentração: Química

Assis
2010

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, Ana Paula Dias dos

A alelopatia e os efeitos dos aleloquímicos liberados durante a germinação das sementes / Ana Paula Dias dos Santos. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA -- Assis, 2010.

64p.

Orientador: Gilcelene Bruzon

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1.Alelopatia. 2.Aleloquímicos.

CDD:660
Biblioteca da FEMA

A ALELOPATIA E OS EFEITOS DOS ALELOQUÍMICOS LIBERADOS DURANTE A GERMINAÇÃO DAS SEMENTES

ANA PAULA DIAS DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Municipal
de Ensino Superior de Assis, como
requisito do Curso de Graduação,
analisado pela seguinte comissão
examinadora:

Orientador: Prof^o. Ms. Gilcelene Bruzon

Analisador: Prof^o. Dra. Mary Leiva de Faria

Assis
2010

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus
e meus pais Zilda e Gilmar pelo
apoio e suporte que me deram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por ter guiado meu caminho para que eu chegasse até aqui e vencesse.

À professora, Gilcelene Bruzon, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho.

Aos amigos que me apoiaram e aos colegas de faculdade por esses quatro anos de caminhada, por todos momentos bons e ruins que passamos juntos. Agradeço aos amigos que em especial viram minha luta para não desanimar nos estudos de perto, que sempre estiveram ao meu lado, me ouvindo, me dando força, incentivando nos momentos de desespero, por isso e tudo mais só tenho a agradecer. Foram quatro anos de conquistas e realizações, obrigada a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

Aos familiares que sempre me deram força aos meus estudos, em especial à meus pais Zilda e Gilmar, que como ninguém viram o quanto me dediquei a este trabalho e que não mediram esforços para realizar uma importante etapa em minha vida.

Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado.

Roberto Shinyashiki

RESUMO

A alelopatia pode ser definida como sendo a ciência que trata das interações bioquímicas entre qualquer organismo. Suas interações são responsáveis pelo estabelecimento e sobrevivência de espécies no ambiente, é também um mecanismo por meio do qual, determinadas plantas interferem no desenvolvimento de outras. Por ser um assunto de grande abrangência a alelopatia vem sendo estudada cada vez mais principalmente por suas aplicações potenciais na agricultura. Esse trabalho tem por objetivo estudar os efeitos dos aleloquímicos liberados durante a germinação das sementes de milho, soja, trigo e feijão. O experimento teve duração de 8 dias, em placas de petri forradas com papel filtro foram semeadas as respectivas sementes e depois foram umedecidas com água, após a germinação foi possível observar quais os efeitos causados pelos aleloquímicos liberados. O milho apresenta efeito alelopático sobre o trigo, é indiferente a cultura de feijão e não apresenta efeito sobre a soja. A soja tem uma pequena interferência sobre o milho, não interfere na cultura do feijão e causa inibição no crescimento de trigo. O feijão é indiferente a cultura de milho, e não causa interferência nas sementes de soja e trigo. O trigo reduz o crescimento de milho, favorece a soja e não apresenta interferência na cultura e feijão.

Palavras-chave: Alelopatia; Aleloquímicos; Germinação.

ABSTRACT

Allelopathy can be defined as the science dealing with the biochemical interactions between any organism. Their interactions are responsible for the establishment and survival of species in the environment, is also a mechanism by which certain plants interfere with the development of others. Because it is a matter of great breadth allelopathy has been studied mainly by increasing its potential applications in agriculture. This work aims to study the effects of allelochemicals released during the germination of corn, soybeans, wheat and beans. The experiment lasted 8 days in petri dishes lined with filter paper were sown their seeds were then moistened with water, after which germination was possible to observe the effects caused by allelochemicals released. Corn has allelopathic effect on wheat, is indifferent to the common bean and has no effect on soybean. Soybeans have a little interference on corn, does not interfere in the bean crop and cause growth inhibition of wheat. Beans are indifferent to the corn crop, and does not cause interference in soybean and wheat. The wheat reduces the growth of corn, soybeans and promotes shows no interference in the culture and beans.

Keywords: Allelopathy, Allelochemicals, Germination.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Estrutura química da Quinina	26
Figura 2	- Estrutura química da Digitoxina.....	27
Figura 3	- Estrutura química da Umbeliferona.....	28
Figura 4	- Estrutura química da Antocianina.....	28
Figura 5	- Estrutura química do Ácido Elágico.....	29
Figura 6	- Transformação do Protopanaxatriol (R ₁ =R ₂ =H) em Panaxatriol (R ₁ =H).....	29
Figura 7	- Estruturas químicas de naftoquinonas.....	30
Figura 8	- Via do Ácido Chiquímico para biossíntese de aminoácidos aromáticos.....	31
Figura 9	- Modo de liberação dos aleloquímicos no meio ambiente.....	34
Figura 10	- Fórmula estrutural do herbicida 2,4D (ácido 2,4 diclorofenoxiacético).....	36
Figura 11	- Ação dos aleloquímicos.....	37
Figura 12	- Milho.....	41
Figura 13	- Estruturas químicas dos ácidos vanílico, siríngico, p-cumarico, e ferúlico.....	43
Figura 14	- Soja.....	43
Figura 15	- Estrutura química do 17 β – Estradiol.....	44
Figura 16	Feijão.....	45
Figura 17	Estrutura química da lisina.....	46
Figura 18	Trigo.....	46
Figura 19	Estrutura química da 2,4-diidroxí-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-ona (DIMBOA).....	47

Figura 20	<i>Zea mays</i> L.....	53
Figura 21	<i>Triticum sativum</i> L.....	53
Figura 22	<i>Glycine max</i> L. Merrill.....	53
Figura 23	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.....	53
Figura 24	Sementes germinadas.....	54

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	RELAÇÕES BIÓTICAS.....	15
2.1	RELAÇÕES INTRA-ESPECÍFICAS.....	15
2.1.1	Competição.....	15
2.1.2	Canibalismo.....	15
2.1.3	Cooperação.....	15
2.2	RELAÇÕES INTERESPECÍFICAS.....	16
2.2.1	Antibiose.....	16
2.2.2	Comensalismo.....	16
2.2.3	Competição.....	16
2.2.4	Parasitismo.....	16
2.2.5	Predação.....	16
2.2.6	Neutralismo.....	17
2.2.7	Mutualismo.....	17
2.2.8	Simbiose.....	17
3	DEFINIÇÃO DE ALELOPATIA.....	18
4	HISTÓRICO.....	19
5	INTERAÇÕES ALELOPÁTICAS.....	21
5.1	INTERAÇÃO PLANTA-VERTEBRADO.....	21
5.2	INTERAÇÃO PLANTA-MICROGANISMO.....	21
5.3	INTERAÇÃO PLANTA-INSETO.....	22
5.4	INTERAÇÃO PANTA-PLANTA.....	23
6	FUNÇÃO DA ALELOPATIA.....	24
7	NATUREZA QUÍMICA DOS AGENTES ALELOPÁTICOS	26
7.1	ALCALÓIDES.....	26
7.2	GLUCOSÍDEOS CARDIOTÔNICOS.....	27
7.3	CUMARINAS.....	27

7.4	FLAVONÓIDES.....	28
7.5	TANINOS.....	28
7.6	TRIPERTENOS E/OU ESTERÓIDES.....	29
7.7	DERIVADOS ANTRACÊNICOS LIVRES – QUINONAS.....	30
8	LOCALIZAÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS.....	33
9	MANEIRAS DE LIBERAÇÃO.....	34
9.1	LIXIVIAÇÃO.....	35
9.2	VOLATIZAÇÃO.....	35
9.3	DECOMPOSIÇÃO.....	35
9.4	EXSUDAÇÃO.....	35
9.5	MODO DE AÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS.....	36
10	MECANISMO DE AÇÃO.....	38
11	EFEITOS.....	39
11.1	ATIVIDADES ENZIMÁTICAS.....	39
11.2	FOTOSSÍNTESE.....	39
11.3	RESPIRAÇÃO.....	39
12	CARACTERÍSTICAS DAS SEMENTES.....	41
12.1	MILHO.....	41
12.2	SOJA.....	43
12.3	FEIJÃO.....	45
12.4	TRIGO.....	46
13	APLICAÇÃO DIDÁTICA.....	49
14	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
14.1	MATERIAIS.....	51
14.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	51
15	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
16	CONCLUSÃO.....	57
	REFERENCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

A alelopatia pode ser definida como sendo a ciência que trata das interações bioquímicas entre qualquer tipo de organismo (SOUZA; FURTADO, 2002). Trata-se de um importante mecanismo ecológico que tem influências sobre as plantas, cujas interações são responsáveis pelo estabelecimento e sobrevivência de espécies no ambiente. É também um mecanismo por meio do qual, determinadas plantas interferem no desenvolvimento de outras (BARBOSA, 2004).

Existem alguns compostos químicos responsáveis pela alelopatia, são os aleloquímicos, cuja função é a proteção (TOKURA; NÓBREGA, 2006). Estes aleloquímicos, também denominados substâncias alelopáticas ou produtos secundários (ácidos aromáticos, aldeídos, fenóis, etc.) (ALMEIDA, 1998), podem ser aumentados por fatores ambientais como híbridos, deficiência de nutrientes e temperatura (OLIVEIRA; FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Os efeitos alelopáticos são mediados por substâncias que pertencem a diferentes categorias de compostos secundários (ALVES et al., 2004); de maneira geral agem como inibidores da germinação ou do crescimento (POVH et al, 2007).

O modo de ação dos aleloquímicos pode ser de forma direta ou indireta, podendo alterar suas propriedades (FEREIRA; AQUILA, 2000). Sendo assim as plantas competem por luz, água e nutrientes, revelando uma concorrência constante entre as espécies que vivem em comunidade, essa concorrência contribui para sobrevivência das espécies no ecossistema (ALVES et al., 2004).

A atividade dos aleloquímicos tem sido usada como alternativa ao consumo de herbicidas, inseticidas e nematicidas, a maioria destas substâncias provém de metabolismos secundários, pois na evolução das plantas representaram alguma vantagem sobre a ação de microrganismos, vírus, insetos e outro patógenos, seja inibindo a ação destes ou estimulando o crescimento ou desenvolvimento das plantas (FEREIRA; AQUILA, 2000).

Do ponto de vista agrônomo, a alelopatia é de grande interesse, pois possibilita não só a seleção de plantas que possam exercer certo nível de controle sobre determinadas espécies indesejáveis, como também, o estabelecimento de espécies que não sejam fortemente alelopáticas, mas que possam compor lavouras equilibradas (TOKURA; NÓBREGA, 2006).

Dentre tantos aspectos a alelopatia tem atraído grande interesse devido suas aplicações potenciais na agricultura (BEDIN, 2006), sendo assim, seu estudo é de grande importância tanto para agricultores como pesquisadores.

Esse trabalho tem como objetivo determinar os efeitos dos aleloquímicos liberados durante a germinação das sementes de milho, feijão, soja e trigo.

2. RELAÇÕES BIÓTICAS

As relações bióticas são definidas como as relações que os seres vivos estabelecem entre si, criando o que pode ser chamado de comunidade (MARTINS, 2010). Estas relações podem ser intra-específicas, que ocorre entre os seres vivos de mesma espécie ou interespecíficas que ocorre entre os seres vivos de espécies diferentes (COSTA, 2010).

2.1 RELAÇÕES INTRA-ESPECÍFICAS

2.1.1 Competição

É a relação em que os indivíduos atuam para garantir a sobrevivência individual (RODRIGUES, 2010).

2.1.2 Canibalismo

É a relação em que um indivíduo mata e se alimenta de outro da mesma espécie (ALBUQUERQUE; DEUS, 2009).

2.1.3 Cooperação

É onde os seres vivos da espécie envolvida são beneficiados, trabalham por um mesmo objetivo (MARTINS, 2010).

2.2 RELAÇÕES INTERESPECÍFICAS

2.2.1 Antibiose

É a relação entre dois seres vivos em que um prejudica o outro sem intenção e sem benefício para si (MARTINS, 2010).

2.2.2 Comensalismo

É a relação na qual um dos seres vivos intervenientes beneficia (comensal) e o outro não é afetado (COSTA, 2010).

2.2.3 Competição

É a relação na qual dois seres vivos competem pelos mesmos recursos alimentares, território, luz ou algo insuficiente para sobrevivência de ambos (RODRIGUES, 2008).

2.2.4 Parasitismo

É a relação na qual um dos seres vivos intervenientes é beneficiado (parasita) e o outro é prejudicado (hospedeiro) (COSTA, 2008).

2.2.5 Predação

É a relação em que um dos seres vivos (predador) alimenta-se do ser capturado (presa) (MARTINS, 2010).

2.2.6 Neutralismo

É a relação em que as espécies envolvidas ficam indiferentes à presença uma das outras (ALBUQUERQUE; DEUS, 2009).

2.2.7 Mutualismo

É a relação em que os seres das duas espécies envolvidas são beneficiados (MARTINS, 2010).

2.2.8 Simbiose

É a relação em que há integração física e fisiológica entre os indivíduos a viver em contato estreito um com outro (MARTINS, 2010).

Entre os fatores bióticos Larcher (1929) cita as relações entre plantas e animais, a polinização, a dispersão de sementes, a simbiose com microrganismos, assim como a influência protetora das plantas adultas, as quais protegem a vegetação mais jovem contra a radiação solar, frio e o excesso de calor. Os fatores de inibição são a disputa de luz, água e substâncias nutritivas pelas plantas, assim como a supressão de organismos por meio de secreções (alelopatia entre plantas vizinhas). Além disso, existe a transferência de informações através de hormônios que influenciam o desenvolvimento e a forma de outros parceiros no sistema ecológico.

3. DEFINIÇÃO DE ALELOPATIA

Alelopatia refere à união das palavras gregas *allélon* (mútuo) e *phatos* (prejuízo) (TOKURA; NÓBREGA, 2006).

Alguma definições de alelopatia:

“Alelopatia é qualquer efeito direto ou indireto, danoso ou benéfico que uma planta (incluindo microrganismos) exerce sobre outra pela produção de compostos químicos liberados no ambiente” (FERREIRA; AQUILA, 2000).

Segundo Molisch (1937 apud Tokura; Nóbrega, 2006, p.379):

Alelopatia é definida como “a capacidade das plantas superiores ou inferiores produzirem substâncias químicas que liberadas no ambiente de outras, influenciam de forma favorável ou desfavorável o seu desenvolvimento”.

É definida como a interferência negativa ou positiva de compostos de metabolismo secundário produzidos por uma planta e lançados no meio (BEDIN et al, 2009).

“Pode ser definida como um processo pelo qual produtos de metabolismo secundário de um determinado vegetal são liberados, impedindo a germinação e o desenvolvimento de outras plantas relativamente próximas” (ALVES et al, 2004).

Evenari denominou alelopatia qualquer influência química, não relacionada com a nutrição (RIZZINI, 1978).

4. HISTÓRICO

O primeiro registro da influência que uma planta tem sobre a outra, foi descrito por *Theophrastus* (300 a.C) um discípulo de Aristóteles, que observou que plantas de grão-de-bico não revigoravam o solo como outras plantas, ao contrário, o exauria, ao mesmo tempo em que destruía as plantas invasoras (SILVA, 2009).

Os primeiros relatos sobre a capacidade de certas espécies vegetais interferirem na fisiologia de outras foram feitas por Theophrastus (300 a.C), seguido por Plínio (1 d.C), Culpeper (1633), Young (1804), De Candolle (1832), Beobachter (1845), Stickney & Hoy (1881) e citados por Rice (1984) (ALMEIDA, 2006).

“Os estudos sobre compostos secundários produzidos pelos vegetais foram iniciados pelos químicos orgânicos do século XIX e início do século XX, interessados nessas substâncias, pela sua importância como drogas medicinais, venenos, aromatizantes e materiais industriais” (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

Apesar da precisão de sua etimologia, a alelopatia tem sido interpretada de diversas maneiras. Para Molisch, que primeiro o usou, engloba todas as interferências desencadeadas entre plantas, incluindo microrganismos, provocados pela liberação de substâncias químicas por eles elaboradas, através dos tecidos vivos ou mortos (ALMEIDA, 1988).

Distingue-se de competição, pois essa envolve a redução ou retirada de algum fator do ambiente necessário à outra planta no mesmo ecossistema, tal como a água, luz e nutrientes. Taiz e Zeiger (2000) “explicam que uma planta pode reduzir o crescimento das plantas vizinhas pela liberação de aleloquímicos no solo, isso pode ter como consequência a maior chance de acesso à luz, água e aos nutrientes e, portanto, propiciar sua maior adaptação evolutiva” (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

“Muitos autores, porém, restringem o significado da palavra somente a efeitos prejudiciais e apenas entre plantas superiores, excluindo portanto os microrganismos” (ALMEIDA, 1988).

Outros, como Whittaker, tendo em consideração que estas mesmas substâncias químicas influenciam as relações entre outros organismos que não só plantas e propôs que o termo abrangesse todas as interferências entre seres vivos provocadas por substâncias químicas por eles elaboradas quer ocorressem ou não no reino vegetal. Esse conceito, pela sua generalização parece o mais adequado (ALMEIDA, 1988).

Conforme Macias (2000b apud Silva, 2009, p.16):

A Sociedade Internacional de Alelopatia foi criada em 1996 e definiu o termo como a “ciência que estuda qualquer processo envolvendo, essencialmente, metabólitos secundários produzidos por plantas, algas, bactérias e fungos que influenciam o crescimento e desenvolvimento de sistemas agrícolas e biológicos, incluindo efeitos positivos e negativos.

Todas as plantas produzem metabólitos secundários, sendo que estes variam em qualidade e quantidade de espécie para espécie (FERREIRA; AQUILA, 2000)

5. INTERAÇÕES ALELOPÁTICAS

Os metabólitos secundários não são de maneira nenhuma limitados ao reino vegetal, é de plantas e microrganismos que a grande maioria foi isolada. O papel de um composto secundário em uma determinada espécie de planta pode ser encontrado não na planta em si, mas sim na bioquímica de outra espécie de planta que compete com ela, na bioquímica dos animais que a usam como alimento ou na bioquímica de organismos que a invadem (BELLE, 1981).

5.1 INTERAÇÃO PLANTA-VERTEBRADO

Os componentes de plantas podem afetar a bioquímica de vertebrados, embora se conheça relativamente pouco sobre tais compostos e menos ainda sobre como agem. Estudos dos efeitos de compostos secundários de plantas em vertebrados têm sido sobre compostos que são tóxicos ou fisiologicamente ativos em humanos ou animais domésticos. Os compostos que tem sido objeto de tais estudos incluem: alcalóides, glicosídeos cianogênicos, glicosinolatos, compostos fenólicos, amino ácidos não proteicos, aminas, peptídeos e compostos de outros grupos químicos.

A exemplo os glicosídeos cianogênicos são tóxicos a vertebrados e outras formas de vida por ser hidrolizados enzimaticamente para dar ácido cianídrico (BELLE, 1981).

5.2 INTERAÇÃO PLANTA-MICRORGANISMO

Nenhuma das numerosas interações planta-microrganismo está completamente compreendida, sabe se que para interagir com as plantas, os microrganismos utilizam os mesmos mecanismos, porém para combinações e propósitos distintos (TARZIA, 2004).

Estudos têm demonstrado que a expressão de genes envolvidos nos mecanismos planta-microrganismo pode ser controlada por um sensoriamento populacional, onde as bactérias controlam características como: inibição do crescimento, nodulação, transferência de plasmídeos, secreção de enzimas envolvidas na patogenicidade, produção de antibióticos e produção de vários metabólitos secundários (como piocianina e pioverdina). Sendo assim, a competição e sobrevivência da bactéria no solo e na planta podem ser influenciadas pela expressão de genes controlados por sensoriamento populacional (TARZIA, 2004).

5.3 INTERAÇÃO PLANTA-INSETO

As plantas desenvolvem diferentes mecanismos para reduzir o ataque de insetos, incluindo respostas específicas que ativam diferentes vias metabólicas as quais alteram consideravelmente suas características químicas e físicas. Por outro lado, os insetos desenvolveram várias estratégias para superar as barreiras defensivas das plantas, permitindo sua alimentação, desenvolvimento e reprodução em seus hospedeiros (MELLO; FILHO, 2002).

Plantas e insetos são apenas alguns dos organismos vivos que estão continuamente interagindo de forma complexa, estes dois organismos estão intimamente associados desde insetos benéficos, incluindo atividades de defesa e polinização, enquanto plantas oferecem abrigo, oviposição e alimentação, principais fatores para proliferação de insetos. Em contrapartida, dependendo da intensidade do ataque de inseto, herbívoros podem ser extremamente prejudiciais às plantas levando-os à morte (MELLO; FILHO, 2002).

As plantas desenvolveram diferentes mecanismos de ação, a fim de reduzir o ataque de insetos, incluindo as barreiras físicas e químicas, tais como: indução de proteínas de defesa, compostos voláteis que atraem predadores dos insetos herbívoros, metabólitos secundários e densidade de tricomas. Paralelamente os insetos desenvolvem estratégias para superar as barreiras de plantas, como: desintoxicação

de compostos tóxicos, mecanismos de evasão, sequestro de veneno e alterações do padrão de expressão genética (MELLO; FILHO, 2002).

5.4 INTERAÇÃO PLANTA-PLANTA

As plantas possuem suas próprias defesas que as protegem de outras plantas, insetos e herbívoros predadores de modo geral. Tais defesas são de natureza química e normalmente envolvem substâncias do metabolismo secundário, os quais podem ser chamados fitotoxinas ou aleloquímicos, no qual esse fenômeno é conhecido por alelopatia (PINTO et al., 2002).

O naturalista romano Plínio fez a primeira descrição sobre a interação planta-planta, onde ele observou que sob a copa das nozeiras não cresciam outros vegetais; hoje sabe-se que a fitotoxina/aleloquímico responsável por esse fenômeno é a juglona, um poderoso inibidor de crescimento, presente na forma de glicosídeo nas folhas (PINTO et al., 2002).

6. FUNÇÃO DA ALELOPATIA

A cada dia descobre-se mais sobre a função das substâncias aleloquímicas, sua utilidade para o desenvolvimento fisiológico das plantas e seu papel como mediadores de interações entre outras plantas e microrganismos (MELO, 2008).

Os compostos aleloquímicos agem como inibidores de germinação ou crescimento. Porém, podem atuar como promotores do crescimento. Os compostos orgânicos que são inibitórios em alguma concentração são estimulantes quando em menor concentração (POVH et al, 2007).

A principal função dos produtos secundários é, pois o de proteção dos organismos que os produzem. A sua ação não é muito específica, podendo uma mesma substância desempenhar várias funções dependendo mais da concentração, translocação e destoxicação, do que da própria composição química. Por outro lado, um composto que é tóxico para uma dada espécie pode ser inócuo para outra mesmo sendo com esta estreitamente relacionada (ALMEIDA, 1988).

Já foram reconhecidas como funções de várias substâncias pertencentes a essa classe de metabólitos: defesa contra herbívoros e microrganismos, proteção contra raios UV, atração de polinizadores ou animais dispersores de sementes e em alelopatia (SILVA, 2009).

Nas plantas as substâncias alelopáticas desempenham as mais variadas funções, como: serem responsáveis pela decomposição das sementes, interferirem na dormência e influenciarem as relações com outras plantas, microrganismos, insetos e até animais superiores (incluindo o homem) (ALMEIDA, 1988).

Durante muito tempo não se sabia se as substâncias químicas do metabolismo secundário representavam o produto final do metabolismo celular ou se eram sintetizadas pelas plantas com funções específicas. Baseados no fato dessas substâncias encontrarem-se em maior quantidade nos vacúolos das células, onde seriam depositadas a fim de evitarem a própria autotoxicidade, alguns autores defendiam a primeira hipótese. Outros consideravam a produção dessas substâncias

segundo as leis da genética que estão constantemente sendo sintetizadas pelas plantas (SILVA, 2009).

Os metabólitos de plantas e seus produtos são importantes nos agroecossistemas. O autor ressalta os conceitos de autotoxicidade e heterotoxicidade. No caso da autotoxicidade ela ocorre quando a planta produz substâncias tóxicas, que inibem a germinação/crescimento de plantas da mesma espécie. Já a heterotoxicidade ocorre quando substâncias fitotóxicas são liberadas pela lixiviação e exsudação das raízes e decomposição de resíduos de alguma planta sobre a germinação de sementes e o crescimento de outra planta (WHITTAKAER; FEENY, 1971 apud GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

Entre as funções a atividade dos aleloquímicos tem sido usada como alternativa ao uso de defensivos agrícolas (herbicidas, inseticidas e nematicidas) (FERREIRA; AQUILA, 2000).

7. NATUREZA QUÍMICA DOS AGENTES ALELOPÁTICOS

Na pesquisa em alelopatia um importante aspecto é a identificação de compostos aleloquímicos envolvidos na interação planta-planta e seus possíveis mecanismos de ação. Dentre estes compostos estão: os alcalóides, os glucosídeos cardiotônicos, cumarinas, os flavonóides, os taninos, os esteróides e os derivados antracênicos livres (quinonas) (MELO, 2008).

7.1 ALCALÓIDES

São compostos nitrogenados farmacologicamente ativos encontrados nas angiospermas. Ex: Quinina (figura 1).

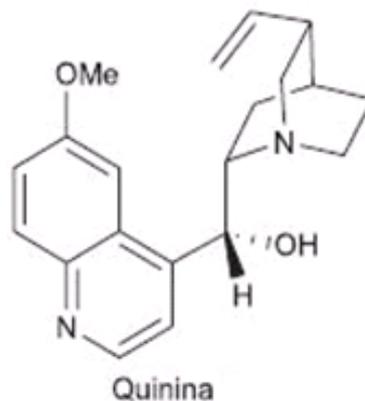


Figura 1: Estrutura química da Quinina (In: OLIVEIRA, SZCZERBOWSKI, 2009, p.2)

7.2 GLUCOSÍDEOS CARDIOTÔNICOS

Os glucosídeos esteroidais são caracterizados pela alta especificidade e poderosa ação que exercem no músculo cardíaco. Ex: Digitoxina (figura 2).

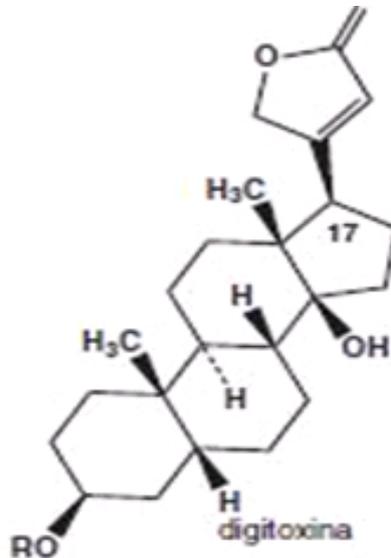
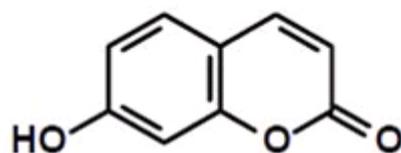


Figura 2: Estrutura química da Digitoxina (In: BARREIRO; BOLZANI, 2009, p.682)

7.3 CUMARINAS

São lactonas do ácido hidróxicinâmico. São amplamente distribuídas nos vegetais, mas podem ser encontradas em fungos e bactérias. Ex: Umbeliferona (figura 3).



umbeliferona

Figura 3: Estrutura química da Umbeliferona (In: MAGNANI, 2007, p.15)

7.4 FLAVONÓIDES

São biossintetizados a partir de fenilpropanóides. Possuem 15 C no núcleo fundamental e constituem uma classe importante de polifenóis, abundantes nos metabólitos secundários das plantas. Ex: Antocianina (figura 4).

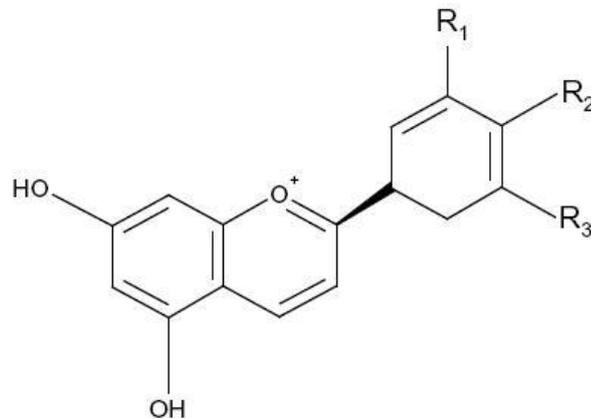


Figura 4: Estrutura química da Antocianina (n: SILVA et al., 2010, p.673)

7.5 TANINOS

São substâncias fenólicas solúveis em água, que formam complexos insolúveis com alcalóides, gelatina e outras proteínas. Ex: Ácido Elágico (figura 5).

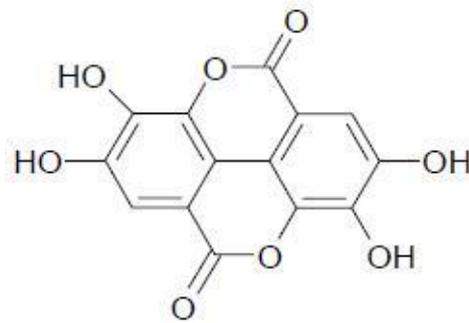
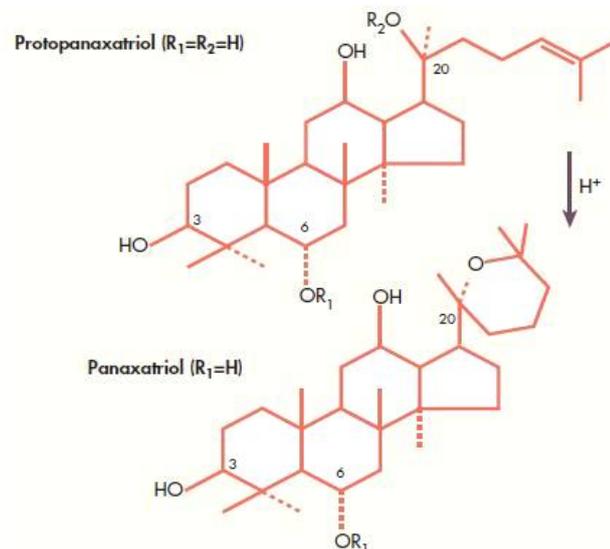


Figura 5: Estrutura química do Ácido Elágico (In: GONÇALVES, 2007, p.36)

7.6 TRITERPENOS E/OU ESTERÓIDES

Os triterpenos (C₃₀) originam-se da ciclização do esqualeno e podem ser triterpenos comuns, esteróides e saponinas. Os esteróides (C₂₇) podem ser metabólitos dos triterpenos. Ex: Panaxatriol (figura 6).

Figura 6: Transformação do Protopanaxatriol (R₁=R₂=H) em Panaxatriol (R₁=H)



(In: VILLAR; NAVAL; SERRANILLOS, 2003, p.27)

7.7 DERIVADOS ANTRACÊNICOS LIVRES – QUINONAS

São compostos orgânicos que podem ser considerados como produtos da oxidação de fenóis. Ex: Naftoquinonas (figura 7) (MELO, 2008).

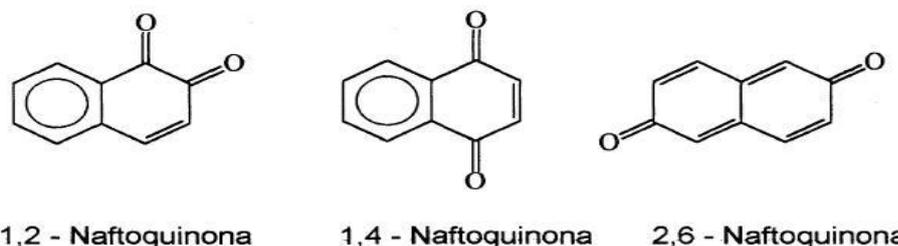


Figura 7: Estruturas químicas de Naftoquinonas (In: FARIAS, 1998, p.4)

Existem mais de 300 compostos secundários vegetais e microbiológicos com propriedades alelopáticas (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

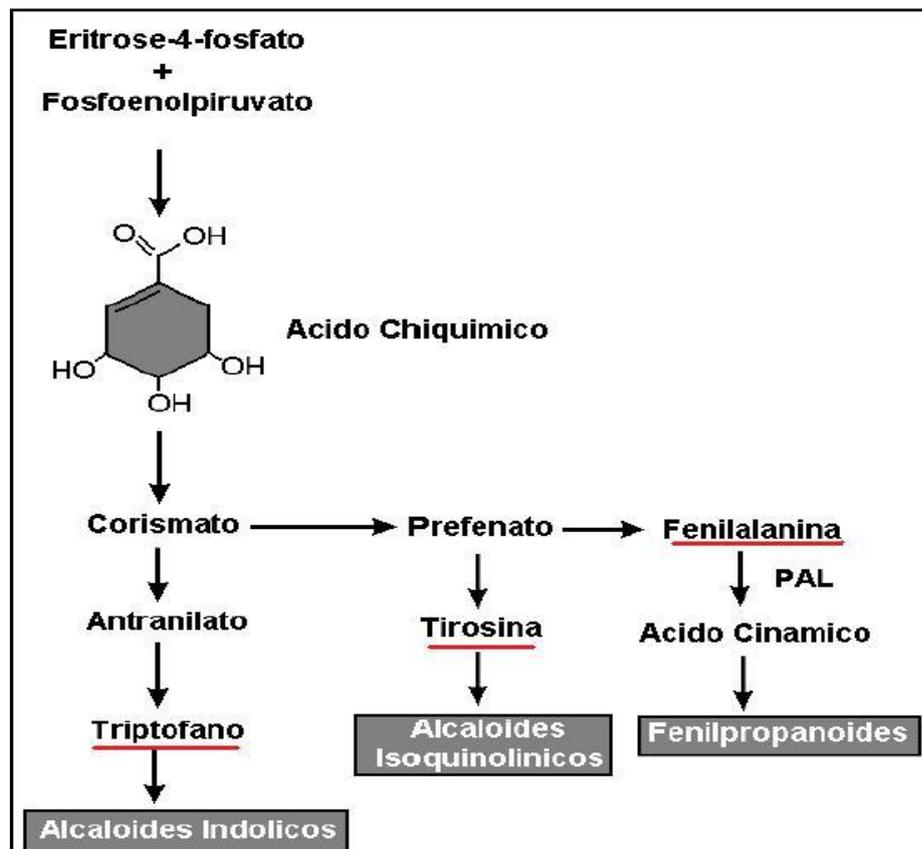
Atualmente conhece-se cerca de 10.000 produtos secundários. Na tentativa de enquadrá-los em grupos têm sido propostas diversas classificações, tais como:

- Enquadrar em cinco grupos: ácidos fenólicos, flavonóides, terpenóides, esteróides e alcalóides.
- 15 categorias agrupados com similaridades químicas e indica as formas conhecidas ou prováveis da sua síntese.
- Agrupados em: gases tóxicos, ácidos orgânicos e aldeídos, ácidos aromáticos, lactonas simples insaturadas, terpenóides e esteróides, quinonas, flavonóides, taninos, alcalóides, coumarinas e diversos. (ALMEIDA, 1988)

Os métodos modernos de extração, isolamento, purificação e identificação têm contribuindo para conhecimento acurado dos vários compostos secundários, que podem ser agrupados de diversas formas como: fitoalexinas, flavonóides, flavonas, monoterpenos, naftoquinonas, poliacetilenos, policetonas, saponinas, sesquiterpeno, taninos, triterpenos, etc. (FERREIRA; AQUILA, 2000)

A síntese dos metabólitos secundários de plantas deriva principalmente do metabolismo da glicose através de dois intermediários principais: o ácido chiquímico e o acetato. No caso do ácido chiquímico (chiquimato) há produção de três aminoácidos aromáticos (figura 8) fenilalanina, triptofano e tirosina, que intermediam a biossíntese de produtos naturais aromáticos em plantas superiores entre eles: os alcalóides, taninos, lignanas, ligninas e cumarinas (SILVA, 2009).

Figura 8: Via do ácido chiquímico para biossíntese de aminoácidos aromáticos



(In: PERES, 2004, p.4)

Na natureza química as condições ambientais influenciam a produção de aleloquímicos, dentre essas condições estão: temperaturas extremas, deficiências nutricionais e de umidade, incidência de luz, insetos, doenças e defensivos agrícolas. Tais condições de estresse frequentemente aumentam a produção de metabólitos secundários, aumentando assim o potencial de interferência alelopática (FERREIRA; AQUILA, 2000).

8. LOCALIZAÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS NAS PLANTAS

Os aleloquímicos são encontrados, distribuídos em concentrações variadas em diferentes partes da planta e durante seu ciclo de vida (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

Os efeitos alelopáticos são mediados por substâncias químicas produzidas no metabolismo secundário, chamadas de aleloquímicos, substâncias alelopáticas, fitotoxinas ou apenas metabólitos secundários. Essas substâncias podem ser encontradas em várias partes das plantas, incluindo folhas, flores, frutos, raízes, rizomas, caules e sementes (POVH et al., 2007).

Os compostos alelopáticos são liberados pelas plantas através da lixiviação da parte aérea e raízes e da volatilização de compostos aromáticos das folhas, flores e caules que são absorvidos por outras plantas (GOLDFARB; PIMENTEL; PIMENTEL, 2009).

Os aleloquímicos estão localizados na epiderme das folhas, caules e outros órgãos. Os taninos e derivados encontram-se nas folhas das espécies arbóreas, como o caso do carvalho (ALMEIDA, 1988).

Nas plantas terrestres os aleloquímicos provem de restos de plantas vizinhas (advindos de folhas, flores, frutos e pólen que formam serrapilheira) e de compostos lixiviados pela ação da chuva sobre as copas e troncos. Também podem vir dos exsudados das raízes (FERREIRA; AQUILA, 2000).

9. MANEIRAS DE LIBERAÇÃO

Os compostos alelopáticos são aqueles que geralmente são produzidos pelas plantas e liberados através da lixiviação, volatilização, decomposição e exsudados da raiz (OLIVEIRA; FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

Os compostos modos de liberação dos compostos estão apresentados na figura 9.

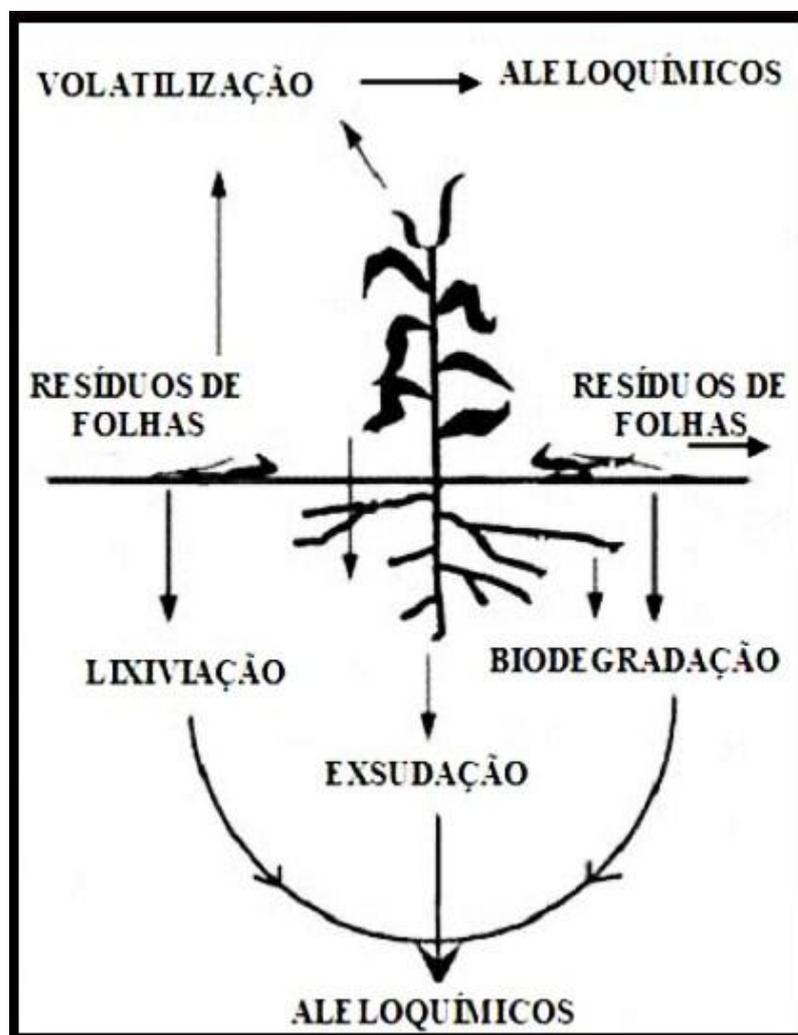


Figura 9: Modo de liberação dos aleloquímicos no meio ambiente (In SANTOS, 2007, p. 27)

9.1 LIXIVIAÇÃO

É a remoção de substâncias químicas das plantas vivas ou mortas pela ação da água, onde na natureza se processa através da chuva, orvalho ou neblina. Os lixiviados contêm substâncias orgânicas e inorgânicas que podem ser tanto tóxicas (alcalóides, terpenóides, ácidos orgânicos e fenólicos), como inóculas ou estimulantes (aminoácidos, açúcares, substâncias pecticas, fitohormônios e vitaminas). O método mais utilizado para obter lixiviados da parte aérea das plantas ou resíduos mortos é o de aspergi-los com água (ALMEIDA, 1988).

9.2 VOLATIZAÇÃO

Os compostos aromáticos são volatizados de folhas, flores, caules e raízes e podem ser absorvidos por outras plantas. Nesse grupo encontram-se : gás carbônico, amônia, etileno e terpenóides (SILVA, 2009).

9.3 DECOMPOSIÇÃO

É decorrente do rompimento de tecidos de células ou extravasamento de conteúdo celular. Porém, a atividade destes produtos no solo é transitória, uma vez que está sujeita a adsorção por colóides, degradação, inativação ou transformação pelos microrganismos (MELO, 2008).

9.4 EXSUDAÇÃO

É pouco estudada, porém é importante quando associada ao efeito de microrganismos no solo, os quais podem ter efeito direto com as raízes de outras

plantas ou simplesmente ficar acumulada no solo (REIGOSA et al. 1999 apud MELO, 2008).

Algumas plantas aromáticas liberam as substâncias alelopáticas na forma de gasosa impedindo a germinação de esporos ou o desenvolvimento de patógenos (ALMEIDA, 1988).

9.5 MODO DE AÇÃO DOS ALELOQUÍMICOS

Os modos de ação dos aleloquímicos ainda estão sendo estudados. Das várias substâncias aleloquímicas apenas algumas tem sido determinadas pelo modo de ação. Muitas destas substâncias aleloquímicas atuam como alternativa aos herbicidas sintéticos (figura 10) (MELO, 2008).

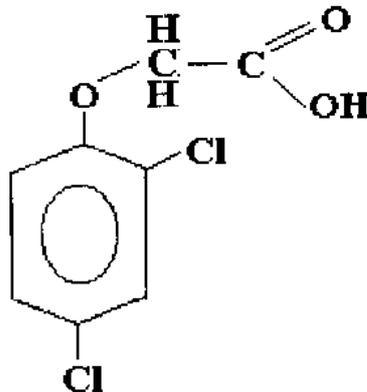


Figura 10: Fórmula estrutural do herbicida 2,4 D (Ácido 2,4 Diclorofenoxiacético) (In: VIEIRA et al., 1999, p.1)

O modo de ação dos aleloquímicos pode ser grosseiramente dividido em ação direta e indireta (figura 11). Na forma indireta pode-se incluir alterações nas propriedades do solo, condições nutricionais e das alterações de populações ou atividade dos microrganismos. Já a forma direta ocorre quando o aleloquímico liga-se diretamente as membranas de plantas receptoras ou penetra na célula, interferindo no metabolismo (FERREIRA; AQUILA, 2000).

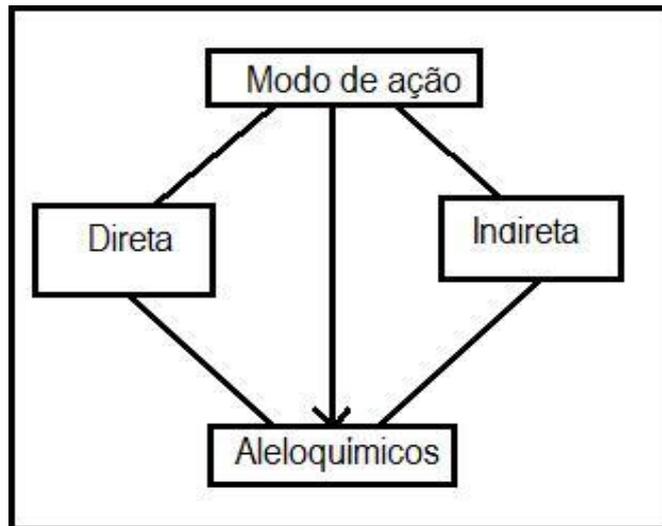


Figura 11: Ação dos aleloquímicos

Os compostos alelopáticos podem afetar: a estrutura e ultra-estrutura celular, concentração e balanço hormonal, permeabilidade das membranas afetando a absorção de minerais, fotossíntese, síntese de pigmentos e proteínas, atividade enzimática, relações hídricas, DNA e RNA (ALMEIDA, 2006).

A parte dos fatores que afetam a produção de aleloquímicos e sua liberação inclui outros aspectos importantes na alelopátia como absorção, translocação no organismo receptor, enfim, sua efetividade como aleloquímico (FERREIRA; AQUILA, 2000).

A ação dos aleloquímicos está envolvida na inibição e modificações no crescimento ou desenvolvimento das plantas. A produção dos mesmos pode ser regulado por fatores ambientais como: temperatura, intensidade luminosa, disponibilidade de água e nutrientes, textura do solo e presença de microrganismos. E também ser influenciados por outros fatores como: radiação UV, doenças e ataques de insetos, modificando assim diretamente a taxa de produção dos aleloquímicos (POVH et al., 2007).

10. MECANISMO DE AÇÃO

Sobre os mecanismos ainda há poucas informações. Porém, os aleloquímicos podem afetar:

- Estrutura citológica e ultra-estrutural
- Hormônios (alterando concentração e o balanço entre diferentes hormônios)
- Membranas e suas permeabilidades
- Absorção de minerais
- Síntese de pigmentos e fotossíntese
- Respiração
- Síntese de proteínas
- Atividade enzimática
- Relações hídricas e condução
- Material genético (DNA e RNA) (FERREIRA; AQUILA, 2000).

Um importante aspecto na pesquisa em alelopatia é a identificação de compostos aleloquímicos envolvidos nas interações planta-planta e seus possíveis mecanismos de ação.

Os mecanismos de ação das plantas podem ocorrer através da respiração, síntese de proteínas, permeabilidade da membrana celular e atividade enzimática.

Os efeitos dos aleloquímicos podem agir como inibidores da germinação ou crescimento, e também podem agir como promotores de crescimento (POVH et al., 2007).

11. EFEITOS

11.1 ATIVIDADES ENZIMÁTICAS

É onde alguns aleloquímicos inibem a atividade enzimática, como é o caso dos ácidos clorogênico e cafeico, que impedem a da fosforilase na batata, e o tanino, a da peroxidase, catalase, celulase, amilase e diversas outras enzimas, em diversas plantas (ALMEIDA, 1988).

11.2 FOTOSSÍNTESE

Pode ser realizadas em plantas devido à capacidade que as clorofilas e outros pigmentos têm de absorver a energia solar. A clorofila se encontra nos cloroplastos tem dupla membrana e DNA próprio; a parte correspondente a matriz contém o estroma, espaço fluido que contém as enzimas das reações obscuras da fotossíntese, nas quais o CO₂ é reduzido à glicose. A fotossíntese possui dois processos: (1) as reações lumínicas (ocorre quando a planta está iluminada) e (2) as reações obscuras (ocorrem tanto em ambientes com ou sem luz) (GONZÁLEZ, 2010).

11.3 RESPIRAÇÃO

É onde alguns compostos químicos isolados do solo inibem a respiração radicalar das plantas, a exemplo temos a juglona que reduz em 90% a respiração das raízes de milho. Já os fenóis ao contrário, eles estimulam a fixação do oxigênio. Os compostos voláteis liberados pelos mesmos, em condições naturais aceleram a

respiração do trigo. Os flavonóides alteram a produção de ATP no mitocôndrio das plantas, suspeitando-se que atuam no mecanismo de fosforilação (ALMEIDA, 1988).

Os efeitos alelopáticos de uma planta são aceitos desde que se comprove que: (1) um inibidor químico efetivo esteja sendo produzido e ocorra numa concentração potencialmente efetiva e (2) a inibição não seja por efeito de competição da planta por luz, água e nutrientes, nem por uma atividade animal (ALMEIDA et al., 2008).

12. CARACTERÍSTICAS DAS SEMENTES

12.1 MILHO

O milho (*Zea mays L.*) (figura 12) pertence à família *Gramineae* originária em Americana (região onde se situa o México. Sobre a planta: a parte aérea atinge até 2 m de altura e é constituída por um colmo ereto, não ramificado, de natureza esponjosa e por folhas com formato lanceolado. O grão de milho é um fruto de uma semente ou cariopse, característico das gramíneas (SILVA, 1997).

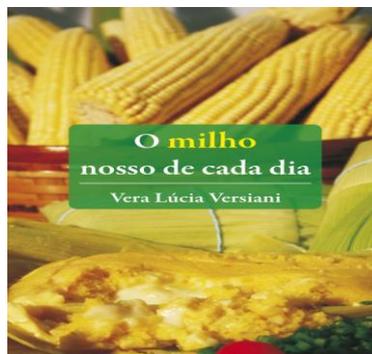


Figura 12: Milho (In: TAGORE, 2009)

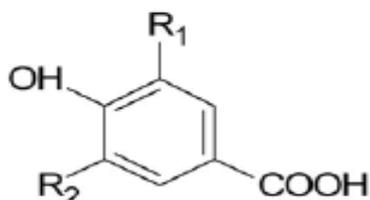
As flores são unissexuadas e encontram-se reunidas em florescência distintas sendo divididas em masculinas e femininas. A inflorescência masculina atinge de 50 a 60 cm de comprimento, sendo de coloração variada, podendo ser: esverdeada, marrom ou vermelho-escuro; cada flor possui três estames protegidos por duas formações membranosas chamadas lema e pálea, dois desses conjuntos são protegidos por plumas formando uma espiguetta que são inseridas nos ramos da inflorescência. Já a inflorescência feminina (espiga) é constituída por um eixo (sabugo) com

reentrâncias em que se desenvolvem as espiguetas, cada espiguetas compõe-se de duas flores (uma fértil e outra estéril) e é recoberta por um par de glumas. O conjunto estilo-estigma é o constituinte do cabelo, barba ou boneca do milho (SILVA, 1997).

No milho e centeio, o aleloquímico benzoxazolinona destaca-se e exerce inúmeras funções na natureza, tais como: resistência a herbicidas, resistência ao ataque de insetos e alelopatia sobre algumas espécies de plantas daninhas (SOUZA; FURTADO, 2002)

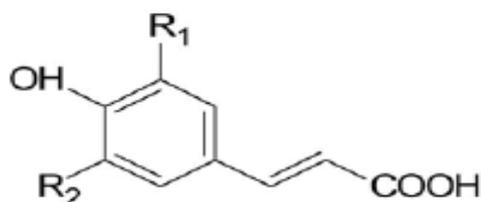
O milho produz além de outros compostos o ácido hidroxâmico, denominado de benzoxazolinona. Os compostos do grupo do ácido hidroxâmico normalmente não causam prejuízos às plantas que os sintetizam, pois os ácidos encontram-se na forma de glicosídeos e, assim, não são fitotóxicos. A toxicidade (principalmente para organismos externos) se inicia quando ocorre dano nas células das plantas e a enzima (benzoxazinone glicosidase) que promove a hidrólise do glicosídeo é liberada de sua compartimentalização. Ocorre então, a separação da glicose e benzoxazinona (possui grande toxicidade), exerce a função de proteção da planta (FRANÇA, 2007).

Relatos de reduções de produtividade do milho em sistema de monocultivo, mostraram auto-alelopatia através de extratos aquosos e palha de milho incorporados ao solo. No efeito inibitório substâncias foram identificadas (ácidos vanílico, siríngico, p-cumárico e ferúlico) (figura 13), indicando serem responsáveis por possíveis efeitos alelopáticos na cultura do milho em sistema de monocultura (FRANÇA, 2007).



Ácido vanílico: $R_1 = \text{OCH}_3$, $R_2 = \text{H}$

Ácido siríngico: $R_1 = R_2 = \text{OCH}_3$



Ácido p-cumárico: $R_1 = R_2 = \text{H}$

Ácido ferúlico: $R_1 = \text{OCH}_3$, $R_2 = \text{H}$

Figura 13: Estruturas químicas dos ácidos vanílico, siríngico, p-cumarico e ferúlico (In: ANGELO; JORGE, 2007, p.234)

12.2 SOJA

A soja (*Glycine max L.Merrill*) (figura 13) pertence à família *Leguminosae*, sub-família *Faboideae* é originária na China (BORTOLINI; FORTES, 2005).



Figura 14: Soja (In: SILVEIRA, 2009)

Sobre sua planta: varia de 60 cm a 1,5 m de altura, uma herbácea, anual, ereta e pubescente, pêlos brancos, pardo-queimados ou tostados, suas folhas são compostas por três folíolos grandes, normalmente ovais, os frutos do tipo vagem são achatados e encerram de 2 a 5 sementes (SILVA, 1997).

Sobre as flores: são axilares ou terminais, sua coloração pode ser branca, amarelada ou violácea de acordo com a variedade (SILVA, 1997).

As plantas de soja podem ser consideradas como sendo um laboratório biossintético, não só no que diz respeito à produção de diversas substâncias, mas também no que se refere à produção de metabólitos secundários (glicosídeos, alcalóides, terpenóides, entre outros). Esses metabólitos possuem diversas funções

na planta, principalmente de defesa de ataque de predadores e patógenos (QUEIROZ; NOGUEIRA; SCRAMIN, 2006).

As isoflavonas pertencem à família dos polifenóis (cuja propriedade comum é a atividade antioxidante). Contudo as isoflavonas apresentam estrutura química semelhante aos estrógenos humanos (tal como o 17 β – estradiol) (figura15), e por apresentar atividade estrogênica essas substâncias são chamadas fitoestrógenos. Esses compostos encontram-se de forma natural em leguminosas e são especialmente abundantes nos grãos de soja (QUEIROZ; NOGUEIRA; SCRAMIN, 2006).

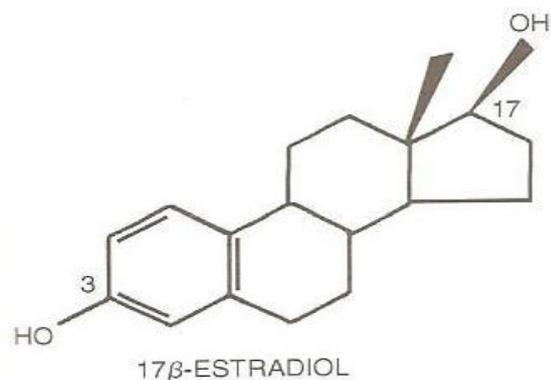


Figura 15: Estrutura química do 17 β – Estradiol (In: SILVA, 2006, p.803)

12.3 FEIJÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) (figura 14) pertence à família *Leguminosae*, subfamília *Papilionoideae* é uma planta herbácea, originária na América do Sul e Central (PROLLA, 2006).



Figura 16: Feijão (In: Avelar, 2010)

A planta é anual, pouco pubescente, caules finos, atinge até 60 cm de altura ou possui hábito de trepadeira atingindo 3 m de extensão. Suas folhas são compostas por três folíolos (um terminal e dois laterais ou opostos), o fruto é uma vagem variável (10 a 20 cm), ereta ou curvada, contendo numerosas sementes de cor e formato variados, sendo assim há feijões brancos, amarelos, vermelhos, pardos, róseos, pretos e pitalgos (SILVA, 1997).

As flores são hermafroditas e dispostas em ráculos axilares muito mais curtos que as folhas, apresentam cálice verde e a corola é composta por cinco pétalas de coloração branca, amarelada, rosada ou violácea (SILVA, 1997).

As variações na composição química do feijão podem ser atribuídas às modificações genéticas impostas à planta ou as condições ambientais durante o plantio. As sementes de leguminosas são ricas em lisina (figura 17). Um estudo comparativo com sementes de *P. vulgaris* apresentou deficiência em aminoácidos sulfurados (metionina e cistina), um teor elevado de lisina, ausência de cistina, fenilalanina e tirosina (PROLLA, 2006)

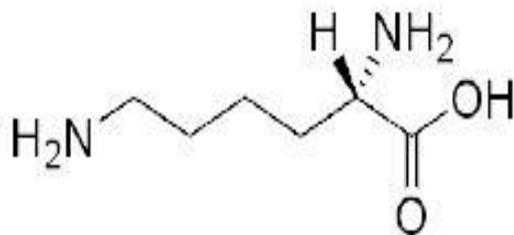


Figura 17: Estrutura química da Lisina (In: TZASKOS; MAY; ROSSO, 2005, p.1)

12.4 TRIGO

O trigo (*Triticum sativum* L.) (figura 15) pertence à família *Gramineae*, originário no Sudoeste da Ásia. A planta é anual, de colmos eretos, pode atingir 1,5 m de altura, possui folhas planas, compridas, pouco ásperas, com bainha invaginante, o fruto é conhecido como grão de trigo, do tipo cariopse, de forma ovóide, entumecida, tenra e farinácea, nem todas as flores transformam-se em frutos, normalmente encontram-se de 2 a 3 grão em cada espiguetas (SILVA, 1997).



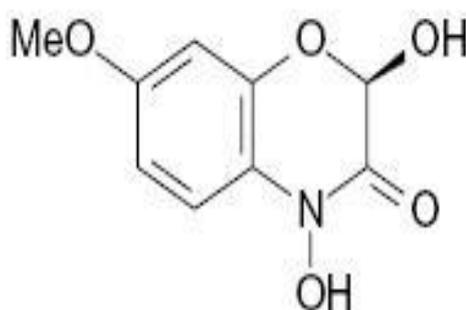
Figura 18: Trigo (In: SÁ, 2009)

As flores não possuem cálice nem corola, estão dispostas em espiguetas alternadas, em número de 3 a 5 formando uma inflorescência terminal do tipo espiga composta (SILVA, 1997).

No Brasil foi encontrado que resteva de trigo, aveia preta ou centeio não influenciou sobre a germinação de culturas de verão como milho, feijão e soja (FERREIRA; AQUILA, 2000).

Os vários aleloquímicos estudados do trigo pertencem a três estruturas químicas, os ácidos fenólicos, os ácidos hidroxicinâmicos e os ácidos alifáticos (SANTIAGO et al., 2002).

O ácido hidroxâmico predominante no trigo e milho é a 2,4-diidroxi-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-ona (DIMBOA) (figura 19), isolada sob forma do glicosídeo (2R)-2-β-glicopiranosiloxi-4-hidroxi-7-metoxi-2H-1,4-benzoxazin-3-ona. A participação desse ácido na defesa do trigo contra insetos é sugerida pelo aumento de seus níveis nas plantas após infestação por anfídeos (SANT'ANNA; SOUZA, 2001).



2,4-diidroxi-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-ona (DIMBOA)

Figura 19: Estrutura química da 2,4-diidroxi-7-metoxi-1,4-benzoxazin-3-ona (DIMBOA) (In: SANT'ANNA; SOUZA, 2001, p.583)

Através de estudos verificou-se que plântulas de trigo apresentavam efeitos alelopáticos sobre diversas sementes na agricultura. Pesquisas mostraram que resíduos de trigo suprimem a germinação de arroz e cevada, enquanto que extratos aquosos de trigo afetavam a germinação de milho (SANTIAGO et al., 2002).

A partir de estudos para identificação de aleloquímicos foram identificados e quantificados cinco ácidos fenólicos em resíduos de plantas adultas de trigo, sendo eles: ácido p-cumárico, ácido sirínico, ácido vanílico, ácido ferúlico e ácido p-hidroxibenzóico. Sendo o ácido p-cumárico presente em maior concentração. Estes compostos têm se mostrado inibidores do crescimento de mudas de trigo (ÁLVAREZ, 2009).

13. APLICAÇÃO DIDÁTICA

A alelopatia é um assunto bem amplo, sendo assim podemos incluir seus estudos com alunos tanto de ensino fundamental, quanto ensino médio.

As aulas práticas auxiliam os alunos a resolverem problemas complexos e servem como estratégia auxiliando o professor com os alunos a ter uma nova visão sobre o mesmo tema. As atividades práticas proporcionam espaço para que o aluno seja agente de seu próprio aprendizado chegando a conclusões e à aplicação dos conhecimentos por ele obtido (CARVALHO et al., 2010)

Interdisciplinaridade pode ser definida como um ponto de cruzamento entre atividades com lógicas diferentes. Ela busca o equilíbrio entre as visões marcadas pela lógica racional, instrumental e subjetiva. A interdisciplinaridade tem a ver não apenas com um trabalho em equipe, mas também individual (LEIS, 2005).

Sendo assim os professores podem atuar em atividades interdisciplinares abordando assuntos como: estrutura de plantas, fotossíntese, interferência da água e luz, tipos de solo, clima, ecossistemas, germinação, extrativismo, entre outros. Dentro desses conteúdos os professores podem e devem fazer uma aula demonstrativa aos alunos ou até mesmo propor que os alunos façam trabalhos sobre tais assuntos.

Aplicação de uma metodologia para ensino médio: o experimento consiste em forrar o interior de copos de vidro ou plástico transparente com papel toalha, acrescentar água para umedecer o papel toalha. Posteriormente adicionar sementes de feijão de forma a ficarem inseridas entre o papel e o copo e distribuídas de forma que a região do hilo assumam posições diferentes. Após a montagem os recipientes devem ser colocados em locais diferentes, sendo um copo em local iluminado (controle), um no escuro, um no interior da geladeira, um dentro de uma caixa com um orifício e um copo em condição de seca (não recebendo água durante o experimento). O experimento deve ser conduzido por 7 dias para que os alunos possam acompanhar o desenvolvimento do processo no intuito de realizar resultados e discussões,

visando assim, a fundamentação dos aspectos observados ao longo do experimento, como forma de articular a teoria com a prática (GONÇALVES, 2007)

Essa mesma metodologia pode ser aplicada ao ensino fundamental, porém com uma abordagem mais simples das teorias dadas em sala de aula. No caso do ensino médio esse experimento aborda a fotossíntese e a respiração.

14. MATERIAIS E MÉTODOS

14.1 MATERIAIS

- Papel filtro
- Placas de petri
- Água destilada
- Pipeta de Pasteur
- Sementes: milho, trigo, soja, feijão
- Papel celofane
- Bandeja de plástico

14.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente foram selecionadas as respectivas sementes de milho, soja, feijão e trigo, para os testes de germinação. Para realização do teste de germinação cortou-se papel filtro, forrou-se o fundo de 10 placas de petri e adicionou-se em cada uma das placas 5 mL de água destilada para umedecer o papel. Em seguida semeu-se as sementes de acordo com as seguintes combinações apresentadas na tabela 1.

Amostras	Combinações das sementes
-----------------	---------------------------------

1	20 sementes de milho
2	10 sementes de milho + 10 sementes de soja
3	10 sementes de milho + 10 sementes de feijão
4	10 sementes de milho + 10 sementes de trigo
5	20 sementes de soja
6	10 sementes de soja + 10 sementes de feijão
7	10 sementes de soja + 10 sementes de trigo
8	20 sementes de feijão
9	10 sementes de feijão + 10 sementes de trigo
10	20 sementes de trigo

Em seguida as placas foram colocadas em uma bandeja plástica, coberta com um papel plástico transparente e deixou-se em local onde todas as amostras foram submetidas às mesmas condições de luz e temperatura e adicionou-se 5 mL de água por 8 dias para manutenção da umidade.

As sementes submetidas à germinação foram milho, soja, feijão e trigo conforme as figuras 20, 21, 22, 23.



Figura 20: *Zea mays* L. (milho)



Figura 21: *Triticum sativum* L (trigo)



Figura 22: *Glycine max* L. Merrill (soja)



Figura 23: *Phaseolus vulgaris* L (feijão)

15. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 8 dias de germinação (figura 20) foi possível ver quais sementes germinaram, verificando assim o efeito dos aleloquímicos sobre a germinação das sementes.



Figura 24: Sementes germinadas

Os resultados apresentados após a germinação estão descritos na tabela 2.

Amostras	Sementes germinadas
1	17 sementes de milho
2	8 sementes de milho + 10 sementes de soja
3	5 sementes de milho + 5 sementes de feijão
4	5 sementes de milho + 2 sementes de trigo
5	14 sementes de soja
6	9 sementes de soja + 9 sementes de feijão
7	10 sementes de soja + 2 sementes de trigo
8	16 sementes de feijão
9	10 sementes de feijão + 5 sementes de trigo
10	5 sementes de trigo

Conforme os resultados apresentados na tabela 2 foi possível notar que as sementes quando germinadas sem qualquer combinação não apresentaram nenhuma interferência alelopática, porém as sementes de trigo germinaram menos em relação as demais sementes sob as mesmas condições de umidade e temperatura.

As sementes com combinações apresentaram resultados variados. Na amostra 2 o milho e soja germinaram sem qualquer interferência. Na amostra 3 as sementes foram germinadas em 50% não podendo avaliar se houve crescimento ou inibição das sementes. Na amostra 4 tanto milho quanto trigo são inibidos pelo aleloquímico liberado. Na amostra 6 não houve interferência. Na amostra 7 a substância química liberada pela soja inibiu o crescimento de trigo. Na amostra 9 não houve interferência, todas sementes germinaram.

Sabe-se que a alelopatia pode ocorrer tanto pela liberação de seus compostos liberados no ambiente, quanto pelos recursos a que as sementes são submetidas como: germinação, competição por água, luz e nutrientes, atividades enzimáticas,

entre outros, sendo assim a inibição ou crescimento das sementes analisadas podem ser afetadas tanto pelo modo de ação direto quanto indireto.

16. CONCLUSÃO

Os aleloquímicos podem ou não interferir na germinação das sementes tanto de forma benéfica ou danosa, dependendo apenas de como a natureza de tal aleloquímico age durante seu cultivo.

O estudo de tais sementes verificou que determinadas combinações podem tanto estimular a germinação e/ou crescimento uma das outras quanto interferir, isso equivale dizer que os aleloquímicos agem de diferentes formas, dependendo da cultura cultivada e dos aspectos tanto físicos quanto químicos, sendo seus efeitos variados de planta para planta.

No intuito de favorecer a agricultura e também minimizar o impacto ambiental que tais lavras possam ocasionar é de grande importância o estudo de alelopátia e também seus mecanismos.

Conforme os resultados apresentados o milho apresentou efeito alelopático sobre o trigo, foi indiferente a cultura de feijão e não apresenta efeito sobre a soja. A soja tem uma pequena interferência sobre o milho, não interfere na cultura do feijão e causa inibição no crescimento de trigo. O feijão foi indiferente à cultura de milho, e não causa interferência nas sementes de soja e trigo. O trigo reduz o crescimento de milho, favorece a soja e não apresenta interferência na cultura e feijão.

A partir desse trabalho podemos concluir que das sementes germinadas apenas o feijão não apresentou efeito sobre os aleloquímicos liberados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Fernanda. DEUS, Helena Moita de. **Factores bióticos**. 8º ano, Editora Lisboa, 2009.

ALMEIDA, Fernando S. **A alelopatia e as plantas**. 1988. 60p. Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, PR, Londrina, 1988.

ALMEIDA, Gustavo Dias de. ZUCOLOTO, Moises. ZETUN, Mariana Caldas. COELHO, Inácio. SOBREIR, Fabrício Moreira. Estresse oxidativo em células vegetais mediante aleloquímicos. **Revista da Faculdade Nacional de Agronomia**. v.61, n.1, mai.2008, p.4237-4247.

ALMEIDA, Luiz Fernando Rolim de. **Composição química e atividade alelopática de extratos foliares de *Leonurus sibiricus* L. (Lamiaceae)**. 2006. 105p. Doutorado – Instituto de Biociências - Universidade Estadual Paulista, SP, Botucatu. 2006.

ÁLVAREZ, Viviana Edith Torres. **Efecto de lixiviados de algunos genotipos de trigo sobre el crecimiento y emergencia de *Rumex acetosella*, *Spergula arvensis* y *Avena fatua***. 2009. 49p. Escuela de Agronomía – Universidad Austral de Chile, Chile, Valdivia, 2009.

ALVES, Maria da Conceição S. FILHO, Sebastião Medeiros. INNECCO, Renato. TORRES, Salvador Barros. Alelopatia de extratos voláteis na germinação de sementes e no comprimento da raiz de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, nov. 2004, p.1083-1086.

ANGELO, Priscila Milene. JORGE, Neuza. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.66, n.1, 2007, p.232-240.

AVELAR, Daiana. Feijão amigo. Disponível em: <<http://avelare.wordpress.com/2010/01/13/feijao-graos-cancer-cancer-mama-dirce-marchioni/>>. Acesso em: 13 jul. 2010

BARBOSA, Aneli M. MIYAGUI, Dalva T. PEREIRA, Geni V. PINOTTI, Maria Helena P. **Alelopatia**. Departamento de Bioquímica e Biotecnologia – Universidade Estadual de Londrina, PR, Londrina, 2004.

BARREIRO, Eliezer J. BOLZANI, Vanderlan da Silva. Biodiversidade: fonte potencial para a descoberta de fármacos. **Química Nova**, v.32. n.3, abr. 2009, p.679-688.

BEDIN, Cristiane. MENDES, Luciana B. TRECENTE, Vanessa C. SILVA, José Mauro S. Efeito alelopático de extrato de *Eucalyptus citriodora* na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.). **Revista Científica Eletônica de Agronomia**. n.10, dez.2006, p.1-7.

BELLE, E. A. **The Biochemistry of Plants** (P.K.Stumpf and E.E. Conn, eds.) - 19. Academic Press, New York, vol 7, 1981.

BORTOLINI, Michele F., FORTES, Andréa M.T. Efeitos alelopáticos sobre a germinação de sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill). **Semina: Ciências Agrárias**, v.26, n.1, jan/mar. 2005, p. 5-10.

CARVALHO, Uelma L. Rodrigues. PEREIRA, Danielle Dutra. MACEDO, Emily. SILVA, Karina da. CIBELI, Mônica. FOLENA, Monica. A importância das aulas práticas de biologia no ensino médio. In: **X Jornada de ensino, pesquisa e extensão** - JEPEX 2010. Recife, out.2010, p 1-3.

COSTA, Ana Maria. **Os ecossistemas**. Colégio Nossa Senhora da Boavista. Disponível em: <www.slideshare.net/sergiomorais7/os-ecossistemas>. Acesso em: 26 abr.2010.

FARIAS, Maritana. **Estudo da síntese da 5-laurilamino-8-hidróxi-1,4-naftoquinona e sua complexação com metais de transição**. 1998. 118p. Mestrado – Instituto de Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

FERREIRA, Alfredo Gui. AQUILA, Maria Estefânia Alves. Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, n.12, 2000, p. 175-204.

FIGUEIREDO, Priscila S.F. OLIVEIRA, Roseline F. de. SILVA, Jonatas Gomes de. ALCANFOR, Sílvia Keli B. ROMEIRO, Luiz Antonio S. Avaliação do perfil antioxidante da Quercetina e Quercetina-Cu (II) e sua relação com logP. In: 29º

Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2006. Águas de Lindóia, Brasil. **Sociedade Brasileira de Química**, Águas Claras – Universidade Católica de Brasília, 2006.

FRANÇA, André Cabral. **Potencial alelopático de híbridos de milho no desenvolvimento inicial de cafeeiros (*Coffea arabica* L.)**. 2007. 69p. Mestrado. Universidade Federal de Lavras, MG, Lavras, 2007.

GOLDFARB, Miriam. PIMENTEL, Livia Warderley. PIMENTEL, Nara Warderley. Alelopatia: relações nos agroecossistemas. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v.3, n.1, fev.2009, p.23-28.

GONÇALVES, Regia Cristina. VERONA, Matheus Fabricio. FURUYA, Ricardo Kazuo. CONSON, André R.Oliveira. COLLI, Sandra. MENDES, Helena de Barros. Hormônios vegetais e germinação: uma abordagem para o ensino médio baseadas em conhecimentos prévios. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, supl.1, jul. 2007, p.576-578.

GONÇALVES, Rui Miguel Freitas. **Estudo da inibição de Tripsina por compostos fenólicos isolados de fontes naturais. Efeito antinutricional de bebidas comuns**. 2003. 128p. Mestrado - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2007.

GONZÁLEZ, Félix H.D. **Fotossíntese**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www6.ufrgs.br/favet/lacvet/restrito/pdf/fotossintese.pdf>>. Acesso em 29 mai.2010

LARCHER, Walter, 1929. **Ecofisiologia vegetal**. Editora Pedagógica e Universitária LTDA. (E.P. U), São Paulo, 1986.

LEIS, Héctor Ricardo. Sobre o conceito de interdisciplinaridade. **Cadernos de pesquisa interdisciplinar em ciências humanas**, n.73, ago. 2005, p. 1-23.

MARTINS, Fernando Oliveira. **Factores Bióticos**. Disponível em: <www.fernandooliveira.wordpress.com>. Acesso em: 26 abr.2010.

MAGNANI, Rodrigo Facchini. **Aspectos químicos envolvidos nas interações de Citrus com fitopatógenos**. 2007. 167p. Doutorado – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia – Universidade Federal de São Carlos, SP, São Carlos, 2007.

MELO, Patrícia G. **Avaliação alelopática e caracterização fitoquímica de *Brachiaria decumbes***. 2008. 17p. Laboratório de Fitoquímica – Universidade Federal de Uberlândia, MG, Uberlândia, 2008.

MELLO, Marcia O; FILHO, Marcio C. Silva. Plant-insect interactions: an evolutionary arms race between two distinct defense mechanisms. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, vol.14, nº 2, May/Aug, 2002, p.71-81.

OLIVEIRA, Alfredo Ricardo Marques de. SZCZERBOWSKI, Daiane. Quinina: 470 anos de história, controvérsias e desenvolvimento. **Química Nova**. v.32, n.7, mar/ago.2009, p.1971-1974.

OLIVEIRA, Sarah C. Caldas. FERREIRA, Alfredo Gui. BORGHETTI, Fabian. Efeito alelopático de folhas de *Solanum lycocarpum* A.St.-Hil.(*Solanaceae*) na germinação e crescimento de *Sesamum indicum* L.(*Pedaliaceae*) sob diferentes temperaturas. **Acta Botânica Brasílica**. v.18, n.3, jul/set. 2004, p.339-344.

PERES, Lázaro E.P. **Metabolismos Secundários**. 2004. 26p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, 2004.

PINTO, Angelo C. SILVA, Dulce Helena S. BOLZANI, Vanderlan da S. LOPES, Norberto P. EPIFANIO, Rosângela de A. Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas. **Química Nova**, v. 25, Supl. 1, 2002, p. 45-61.

POVH, Juliana Aparecida. PINTO, Daniela Dias. CORRÊA, Maria Oliveira Gaspar. ONO, Elizabeth Orika. Atividade alelopática de *Machaerium acutifolium* Vog. na germinação de *Lactuca sativa* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, supl.2, jul.2007, p.447-449.

PROLLA, Ivo Roberto Dorneles. **Características físico-químicas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), e efeitos biológicos da fração fibra solúvel**. 2006. 113p. Mestrado – Centro de Ciências Naturais e Exatas – Universidade Federal de Santa Maria, RS, Santa Maria, 2006.

QUEIROZ, Sonia C.N., NOGUEIRA, Raquel Tassara. SCRAMIN, Shirlei. Importância dos fitoestrógenos, presentes na soja, para a saúde humana. In: **Embrapa**. Jaguariúna, 2006, 4 p.

RIZZINI, Carlos Toledo. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. Editora de Humanismo, Ciência e Tecnologia “HUCITEC” LTDA. 1978. p.87

RODRIGUES, Margarida Branco. **Factores bióticos**. Disponível em: <www.slideshare.net/margaridabranco/factores-biotivos>. Acesso em 26 abr. 2010.

SÁ, Vitor Hugo Mendes de. **Chegou a hora da colheita**. Disponível em: <<http://prvitorhugo.wordpress.com/2009/06/24/chegou-a-hora-da-colheita/>>. Acesso em: 13 jul. 2010.

SANT'ANNA, Carlos Mauricio R., SOUZA, Vivian P. Estudo semi-empírico de ácidos hidroxâmicos: ácido formidroxâmicos e derivados do aleloquímico DIMBOA. **Química Nova**, vol.24, nº5, 2001, p.583-587.

SANTIAGO, Simone A. SILVA, Andréia A.O. RODRIGUES, Eliana. ANTONIAZZI, N. BACH, Erna E. Efeito alelopático do extrato de *Impatiens Walleriana* sobre sementes de cevada. **Conscientiae Saúde. Revistas Científicas**, v.001, 2002, p 17-20.

SANTOS, Douglas Queiroz. **Potencial herbicida e caracterização química do extrato metanólico da raiz e caule do *Cenchrus echinatus* (Timbete)**. 2007. 70p. Mestrado – Instituto de Química - Universidade Federal de Uberlândia, MG, Uberlândia, 2007.

SILVA, Cristiane Bezerra da. **Avaliação do potencial de atividade alelopática da parte aérea e subterrânea de *Hydrocotyle Bonariensis* LAM (Araliaceas)**. 2009. 142p. Mestrado – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde – Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, MS, Campo Grande, 2009.

SILVA, Marília Lordêlo. COSTA, Renata Silva. SANTANA, Andréa dos Santos. KOBLIZT, Maria Gabriela Bello. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, n.3, jul/set. 2010, p.669-682.

SILVA, Penildon. Farmacologia. 7.ed – Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006.

SILVA, Silvestre. **Flores de alimento**. Empresa das Artes, 1997. Disponível em: <<http://agrov.com/vegetais/graos/feijao.htm>>. Acesso em: 8 jul.2010

SILVA, Silvestre. **Flores de alimento**. Empresa das Artes, 1997. Disponível em: <<http://agrov.com/vegetais/graos/milho.htm>>. Acesso: 8 jul.2010.

SILVA, Silvestre. **Flores de alimento**. Empresa das Artes, 1997. Disponível em: <<http://agrov.com/vegetais/graos/soja.htm>>. Acesso em: 8 jul.2010

SILVA, Silvestre. **Flores de alimento**. Empresa das Artes, 1997. Disponível em: <<http://agrov.com/vegetais/graos/trigo.htm>>. Acesso em: 8 jul.2010

SILVEIRA, Ilka. **Soja orgânica- benefícios para o organismo e ao meio ambiente**. TV Ecológica, 2009. Disponível em: <<http://tvecologica.wordpress.com/2009/06/17/soja-organica-%E2%80%93-beneficios-para-o-organismo-e-ao-meio-ambiente/>>. Acesso em: 13 jul.2010.

SOUZA, Itamar Ferreira. FURTADO, Danilo Augusto da Silva. Caracterização de aleloquímicos do centeio (*Secale cereale*) e seu potencial alelopático sobre plantas de alface (*Lactuca sativa*). **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.5, set/out.2002, p.1097-1099.

TAGORE, Victor. "O milho nosso de casa dia " tem lançamento na embaixada de Portugal, 2009. Acessado em:< www.nosrevista.com.br/2009/06/11/o-milho-nosso-de-cada-dia-tem-lancamento-na-embaixada-de-portugal/>. Acesso em: 13 jul.2010.

TARZIA, Andréa. **Sensoriamento populacional em *Herbaspirillum spp.*** 2004. 100p. Mestrado – Setor de Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná, PR, Curitiba, 2004.

TOKURA, Luciene Kazue. NÓBREGA, Lúcia Helena Pereira. Alelopatia de cultivos de cobertura vegetal sobre plantas infestantes. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.28, n.3, jul/set.2006, p.379-384.

TZASKOS, Danilla Fernanda. MAY, Eliane. ROSSO, Neiva Deliberali. Estudos de equilíbrio e espectroscópicos dos complexos da lisina com os íons Co(II) e Cu(II). In: **XVI Encontro de Química da Região Sul** (16 – SBQSul). UFSC, 2005.

VILLAR, A.M. NAVAL, M.V. GÓMEZ-SERRANILLOS, M.P. **Ginseng Revisión**, v.16, n.10, nov.2003, p.68-73.

VIEIRA, Eny Maria. PRADO, Alexandre G. Soares do. LANDGRAF, Maria Diva. REZENDE, Maria Olímpia de Oliveira. Estudo da adsorção/dessorção do ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D) em solo na ausência e presença de matéria orgânica. **Química Nova**, v.22. n.3, 1999, p.305-308.