

Alelopatia de extratos aquosos foliares da exótica invasora *Pittosporum undulatum* na germinação e crescimento do capim-arroz

Fernando Bertol Carpanezzi¹, Sonia Cristina Juliano Gualtieri¹

¹Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Botânica, Rod. Washington Luís, Km 235, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil

*Autor correspondente:
fbcarpa@gmail.com

Termos para indexação:

Pau-incenso
Echinochloa crusgalli
Agroecossistemas
Áreas alagáveis

Index terms:

Cheesewood tree
Echinochloa crusgalli
Agroecosystems
Floodplains

Histórico do artigo:

Recebido em 20/10/2013
Aprovado em 11/08/2014
Publicado em 10/10/2014

doi: 10.4336/2014.pfb.34.79.599

Resumo - A gramínea *Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv. (capim-arroz), resistente a diversos herbicidas, traz problemas a plantações de arroz e à biodiversidade de planícies alagáveis em escala mundial. O objetivo desse trabalho foi investigar o potencial alelopático de extratos foliares da árvore *Pittosporum undulatum* Vent. (pau-incenso) sobre o capim-arroz. Foram preparados extratos aquosos foliares lixiviados nas concentrações de 20%, 15%, 10%, 5% e 2,5% (m/v), extratos aquosos do pó de folhas lixiviadas e não-lixiviadas (10%, 7,5%, 5%, 2,5% e 1,25% para ambos), solução de cumarina a 0,6 mM e Roundup® original em concentração recomendada pelo fabricante. Contagens a cada 12 horas permitiram determinar porcentagens e velocidades germinativas; soluções de polietileno glicol (PEG 6000) foram preparadas para avaliar possíveis efeitos osmóticos. Para análise do crescimento, plântulas de sete dias submetidas aos compostos tiveram medidos seus comprimentos de radícula e parte aérea. A germinação mostrou-se sensível principalmente aos extratos provenientes do pó foliar. Quanto ao crescimento, as radículas apresentaram necrose e redução dose-dependente do comprimento para todos os tratamentos. Os efeitos inibitórios sugerem ação de compostos aleloquímicos foliares superficiais e internos, suscitando a possibilidade de uso de *Pittosporum undulatum* no controle do capim-arroz.

Allelopathy of aqueous leaf extracts from the invasive alien tree *Pittosporum undulatum* on germination and growth of barnyard grass

Abstract - Barnyard grass (*Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv.) is a herbicide-resistant weed that brings negative impacts to rice crops and threatens floodplains biodiversity worldwide. This study aimed to investigate allelopathic influences of extracts from *Pittosporum undulatum* Vent. (cheesewood) leaves on barnyard grass. Leachates in concentrations of 20%, 15%, 10%, 5% and 2.5% (w/v), aqueous extracts from powdered leached and non-leached leaves (10%, 7.5%, 5%, 2.5% and 1.25% for both), coumarin solution at 0.6 mM and original Roundup® in concentration according to the label information were prepared. Petri-dishes germination bioassays, with counting at each 12 hours, allowed to determinate both germinability and germination rate; polyethylene glycol (PEG 6000) solutions were prepared to evaluate osmotic effects. In growth tests, seedlings were exposed for seven days, when root and shoot lengths were measured. Germination was sensitive to extracts from powdered leaves. In regard to growth, roots showed dose-dependent length reduction and necrosis. Inhibitory effects from different aqueous extracts suggest action of both internal and external leaf allelochemicals, raising the possibility of *Pittosporum undulatum* use for barnyard grass control.

Introdução

A alelopatia é uma forma de interferência química entre plantas, mediada por metabólitos secundários, moléculas bioquimicamente diversificadas capazes de atuar em muitos processos fisiológicos. Apesar de o primeiro relato sobre a interação, em 300 a. C., ter abordado a perda de produtividade agrícola (Chou, 2006), no Brasil, apenas recentemente começou-se a estudar a aplicabilidade desses compostos na dinâmica dos agroecossistemas (Gatti et al., 2004; Voltarelli et al., 2012; Reigosa et al., 2013). Os compostos alelopáticos podem associar-se aos herbicidas sintéticos no controle de plantas indesejáveis, ou mesmo substituí-los com vantagens (Chou, 2006).

O uso de *Sorghum bicolor* L. é um exemplo de aplicação prática do conhecimento sobre interações aleloquímicas. Em sistemas de rotação de culturas, a cobertura do solo com a palha do sorgo pode ser utilizada tanto para viabilizar a semeadura direta como na supressão alelopática de plantas daninhas (Correia et al., 2005). O girassol (*Helianthus annuus* L.) é igualmente conhecido pela capacidade inibidora. A incorporação de seus resíduos vegetais ao solo é a técnica mais empregada, mas também é viável a aplicação de compostos elaborados a partir do isolamento dos metabólitos secundários (Alsaadawi et al., 2011).

Com tendência à biodegradabilidade e menor tempo de meia-vida, a atuação simultânea das fitoalexinas sobre mecanismos fisiológicos distintos diminui a formação de biótipos resistentes (Durán-Serantes et al., 2002). A prospecção de espécies vegetais com compostos alelopáticos potencialmente úteis a áreas de cultivo frequentemente deriva de observações ecológicas (Voltarelli et al., 2012).

Pittosporum undulatum Vent. (pau-incenso), árvore da família Pittosporaceae, originária da Austrália, é largamente encontrada invadindo florestas secundárias na região subtropical do Brasil. Considerando que a liberação de metabólitos secundários frequentemente eleva o recrutamento da espécie introduzida (Chou, 2006; Clements & Ditommaso, 2011), a formação de povoamentos densos pelo pau-incenso pode estar associada à abundância de terpenóides com ação aleloquímica em suas folhas (Ferreira et al., 2006; Lago et al., 2006). Adicionalmente, a presença de cumarinas também é relatada para Pittosporaceae (Murray et al., 1982).

Echinochloa crusgalli (L.) Beauv. é uma gramínea euro-asiática conhecida no Brasil como capim-arroz, representando um dos mais sérios problemas às plantações de arroz. Além de seu impacto agrônomo, ela é globalmente encontrada invadindo e diminuindo a biodiversidade em ambientes úmidos (Clements & Ditommaso, 2011). Seu manejo é complexo, devido à heterogeneidade das condições ambientais nas áreas onde ocorre e, principalmente, pela resistência a diversos tipos de herbicidas utilizados comercialmente (Riar et al., 2012). Recentemente, foram estudadas populações de pau-incenso ocorrendo em formações florestais próximas a grandes centros rurais, principalmente na Região Sul do Brasil (Karam & Cardoso, 2010).

Buscando investigar o potencial alelopático de pau-incenso, suscitando possível utilização de material foliar no controle do capim-arroz, foram avaliadas interações exercidas por *Pittosporum undulatum* sobre a germinação e crescimento de *Echinochloa crusgalli*.

Material e métodos

Preparação do extrato aquoso lixiviado (L)

Em agosto de 2007, folhas adultas de *Pittosporum undulatum* foram coletadas no Parque Municipal da Barreirinha, em Floresta Ombrófila Mista Montana de Curitiba, PR (25°25'40"S, 49°16'23"W). As folhas foram imersas em água destilada na proporção de 1:4 (m/v) e acondicionadas em geladeira a 5 °C durante 24 horas, na ausência de luz. Decorridas 24 horas da extração aquosa, as folhas foram separadas e a solução passou por peneiras metálicas de porosidade decrescente para retenção de partículas sólidas. O extrato obtido, em concentração de 20%, foi fracionado em recipientes plásticos e congelado a -18 °C até a montagem dos experimentos, quando foram medidos o pH e o potencial osmótico (pHmetro Analion PM 608 e osmômetro µOsmette 5004, respectivamente).

Preparação do extrato aquoso obtido do pó de folhas lixiviadas (PL)

As folhas usadas na preparação do extrato aquoso lixiviado foram secas, primeiramente em casa-de-vegetação durante 48 horas e, posteriormente, em estufa com ventilação forçada a 40 °C, pelo mesmo período. As folhas secas foram moídas em moinho industrial, embaladas a vácuo em sacos plásticos e congeladas a -18 °C até o início da montagem dos experimentos.

Para extração aquosa, o pó das folhas foi homogeneizado e deixado durante 24 horas em solução com água, na proporção de 1:9 (m/v), a 5 °C e protegido da luz. Decorrido o tempo determinado, a solução passou por peneiras de porosidade decrescente, sendo finalmente filtrada em funil de Buckner contendo papel-filtro Whatman # 1 acoplado a uma bomba elétrica a vácuo. Os extratos, em concentração inicial de 10%, foram preparados na ocasião da montagem de experimentos, quando tinham medidos seu pH e potencial osmótico.

Preparação do extrato aquoso obtido do pó de folhas não-lixiviadas (PNL)

Folhas coletadas no mesmo período, mas que não sofreram lixiviação, foram submetidas aos mesmos processos realizados para preparação do extrato aquoso do pó de folhas lixiviadas.

Bioensaios de germinação

Propágulos de *Echinochloa crusgalli*, adquiridos junto à empresa Shokucho do Brasil Agrícola Ltda., foram selecionados visualmente, eliminando-se as sementes defeituosas ou carunchadas. Além de dois tratamentos com água destilada, foram realizados cinco tratamentos com extratos lixiviados (20%, 15%, 10%, 5% e 2,5%), um tratamento com solução alcoólica de cumarina a 0,6 mM e cinco tratamentos para cada tipo de extrato obtido a partir do pó de folhas (10%, 7,5%, 5%, 2,5% e 1,25%). Soluções de etanol e polietileno glicol - PEG 6000 (Vilella et al., 1991) também foram testadas para isolar, respectivamente, o efeito alcoólico na solução de cumarina e da osmolaridade nos extratos. Cada tratamento contou com quatro repetições de 25 sementes, distribuídas em placas de Petri de 90 mm de diâmetro, previamente esterilizadas com álcool 96 °GL. Como substrato, foram utilizadas duas folhas de papel-filtro Whatman #1 embebidas em 5 mL das soluções. As placas foram dispostas aleatoriamente na câmara de germinação (Estufa BOD) a temperaturas de 30/20 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz fluorescente branca (Rahman & Ungar, 1990). As sementes foram consideradas germinadas ao apresentarem aproximadamente 2 mm de protrusão radicular (Brasil, 2009). As contagens, feitas em intervalos regulares de 12 horas, eram encerradas 72 horas após a constatação da última semente germinada.

Bioensaios de crescimento

Sementes pré-germinadas em água destilada, com raízes de aproximadamente 2 mm de comprimento, foram colocadas em caixas plásticas transparentes

(19,5 cm x 13 cm x 6 cm) esterilizadas com álcool. Como substrato, utilizou-se uma camada de papel germitest e uma camada de papel-filtro qualitativo embebidas com 15 mL das soluções testadas. As condições da câmara climatizada, o delineamento experimental e os tratamentos foram os mesmos dos experimentos de germinação. Cada tratamento foi constituído por quatro repetições de 15 plântulas. Após sete dias, as plântulas foram escaneadas em resolução de 300 dpi e medições de raiz e parte aérea foram feitas com o software Image Pro® Plus (Media Cybernetics Inc, 2006). Aspectos morfológicos, tais como, presença de raízes secundárias, pelos radiculares e necrose foram verificados.

Análise estatística

As porcentagens da velocidade de germinação foram calculadas segundo Laboriau (1983). Os dados referentes ao processo germinativo e ao crescimento foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ecofisiologia de Sementes do Departamento de Botânica da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Resultados e discussão

Os valores de pH, situados entre 4,12 e 6,23, permitiram desconsiderar a influência do potencial hidrogeniônico na germinação e crescimento de *Echinochloa crusgalli* (Gatti et al., 2004; Voltarelli et al., 2012). De maneira semelhante, a possibilidade de interferência osmótica nos bioensaios foi afastada por meio dos tratamentos com PEG 6000.

Germinação

Extratos foliares lixiviados de *Pittosporum undulatum* (L) tiveram pouca influência sobre o processo germinativo de *Echinochloa crusgalli* (Tabela 1). Enquanto a velocidade germinativa permaneceu inalterada em relação ao tratamento controle, a germinabilidade, por sua vez, apresentou redução significativa apenas para a concentração de 20%.

Ácidos graxos e ceras são abundantes na superfície foliar de *Pittosporum undulatum*. Entretanto, a lipossolubilidade de mono e sesquiterpenóides secretados por tricomas adaxiais, aliada à proteção conferida pelos envoltórios seminais, tende a reduzir a ação alelopática de extratos aquosos lixiviados sobre as sementes (Tunbridge et al., 2000; Ferreira et al., 2006).

Tabela 1. Valores médios de germinação e crescimento de *Echinochloa crusgalli* sob diferentes concentrações de extratos aquosos lixiviados (L) de *Pittosporum undulatum*.

Tratamentos	Germinação (%)	Velocidade de germinação (dias ⁻¹)	Comprimento de parte aérea (mm)	Comprimento de raiz (mm)
Controle	69,0 a	0,314 a	24,51 a	37,40 a
L 2,5%	69,0 a	0,320 a	24,62 a	8,98 b
L 5%	61,0 ab	0,304 a	25,27 a	5,83 c
L10%	58,0 ab	0,313 a	22,96 a	5,80 c
L 15%	57,0 ab	0,311 a	24,21 a	4,30 c
L 20%	56,0 b	0,310 a	23,42 a	3,76 c

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os extratos do pó de folhas lixiviadas e não-lixiviadas (PL e PNL), por outro lado, caracterizaram-se por efeitos inibitórios significativos sobre os parâmetros germinativos analisados (Tabela 2). A porcentagem de germinação mostrou-se especialmente sensível à PNL, com valores que diferiram do tratamento controle mesmo sob baixas concentrações.

Tabela 2. Valores médios de porcentagem e velocidade de germinação de sementes de *Echinochloa crusgalli* L. Beauv. sob diferentes soluções e extratos de *Pittosporum undulatum*.

Tratamentos	Germinação (%)	Velocidade de germinação (dias ⁻¹)
Controle	67,0 a	0,314 a
CM 0,6 mM	63,00 ab	0,301 ab
PL 1,25%	64,0 ab	0,319 a
PL 2,5%	62,0 ab	0,303 abc
PL 5%	59,0 abc	0,287 bcde
PL 7,5%	51,0 cd	0,283 cde
PL10%	51,0 cd	0,277 de
PNL 1,25%	56,0 bc	0,299 abcd
PNL 2,5%	51,0 cd	0,283 cde
PNL 5%	50,0 cd	0,286 bcde
PNL 7,5%	46,0 d	0,281 de
PNL 10%	42,0 d	0,274 e

CM = cumarina; PL = extrato do pó de folhas lixiviadas; PNL = extrato do pó de folhas não-lixiviadas. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A similaridade dos resultados de germinação entre PL e PNL ressalta a importância aleloquímica dos compostos intrafoliares. Assim como no presente estudo, Omezzine et al. (2011) também encontraram pronunciada ação alelopática sobre sementes causada por extratos aquosos

contendo aleloquímicos de camadas foliares internas. A inibição germinativa constatada pode ser consequência da ação conjunta de cumarinas e terpenóides, os quais tem presença confirmada para Pittosporaceae em espaços intercelulares e vacúolos (Murray et al., 1982; Ferreira et al., 2006).

A solução de cumarina igualou-se estatisticamente ao tratamento controle para os parâmetros germinativos analisados. À primeira análise, o resultado sugere que os efeitos inibitórios de PL e PNL independem da presença desse composto, mas cabe ressaltar a possibilidade de ação aleloquímica sinérgica, comum em estudos de alelopátia (Chou, 2006; Reigosa et al., 2013). As cumarinas podem bloquear a mitose e impedir a entrada de água na semente (Murray et al., 1982). Abenavoli et al. (2006), por exemplo, constataram fortes efeitos inibitórios germinativos causados por esses compostos fenólicos.

Crescimento

De maneira geral, as plântulas mostraram-se mais sensíveis às interações alelopáticas que as sementes. Se, por um lado, os extratos aquosos lixiviados (L) ocasionaram apenas leve inibição sobre propágulos, fortes efeitos inibitórios sobre radículas foram observados (Tabela 1). Houve redução dose-dependente estatisticamente significativa para todos os tratamentos. Em relação à parte aérea, inexistiram efeitos. Os extratos PL e PNL também foram responsáveis por reduções dose-dependentes no comprimento radicular (Figura 1), provocando brusca inibição desde as menores concentrações.

Igualando-se aos extratos feitos com material foliar paticulado, com exceção de PL 1,25%, o herbicida comercial também apresentou proeminente ação inibitória. O composto fenólico cumarina, embora tenha

causado reduções bastante significativas, mostrou-se comparável às menores concentrações de PL e PNL.

Apenas PNL em sua maior concentração inibiu significativamente a porção aérea das plântulas (Figura 1). A cumarina e o herbicida, nessa ordem, causaram as mais fortes reduções nos hipocótilos, diferindo-os estatisticamente dos extratos de folhas pulverizadas.

A transição entre a germinação e o estabelecimento é crucial ao organismo vegetal, uma vez que tanto o tegumento quanto o endosperma deixam de funcionar como barreiras físico-químicas. Adicionalmente, os meristemas primários radiculares são os primeiros

tecidos expostos às condições ambientais e, ainda que protegidos pela coifa, características ecofisiológicas absorptivas os tornam susceptíveis à ação aleloquímica (Chou, 2006).

A grande quantidade de espuma ao manipular o extrato lixiviado, assim como revisão de literatura, sugere abundância de saponinas nas folhas de *Pittosporum undulatum* (Ferreira et al., 2006; Lago et al., 2006). Esses terpenóides, anfóteros desestabilizadores de membranas, já foram isolados e identificados como fortes componentes alelopáticos (Arowosegbe et al., 2012).

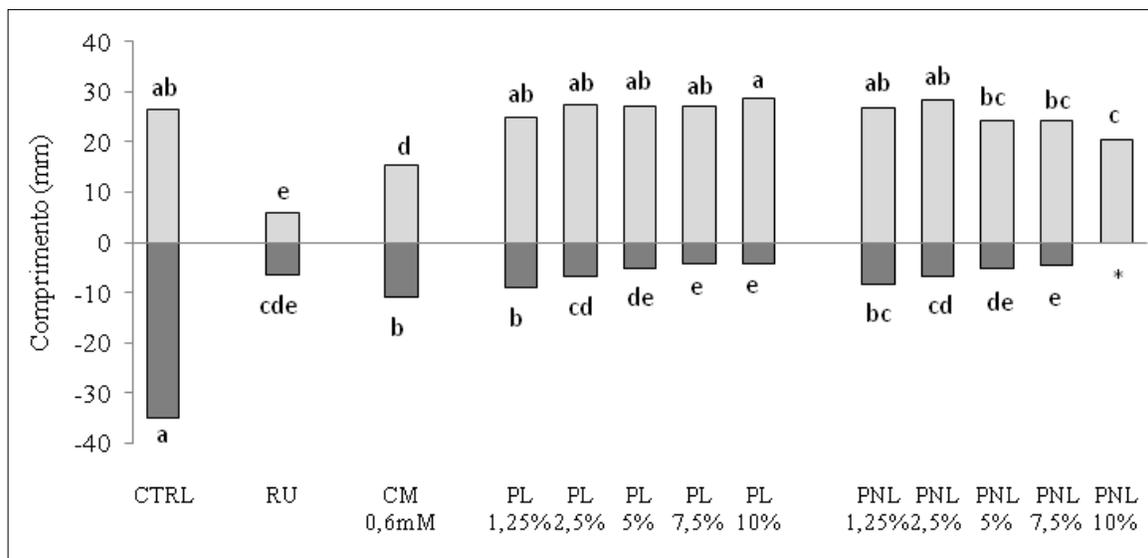


Figura 1. Comprimentos de parte aérea (em claro) e raiz (em escuro) de plântulas de *Echinochloa crusgalli* sob herbicida comercial (RU), solução de cumarina (CM) e extratos aquosos do pó de folhas lixiviadas (PL) e não-lixiviadas (PNL) de *Pittosporum undulatum*. *Não-mensurável, devido à necrose generalizada. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados sugerem sensibilidade das radículas tanto a mono e sesquiterpenóides, presentes externamente em tricomas secretores foliares, quanto a terpenóides de cadeia mais longa, presentes em vacúolos e espaços intercelulares (Ferreira et al., 2006). Esses compostos, abundantes em folhas de *Pittosporum undulatum*, são capazes de interagir com membranas celulares por reações oxidativas ou formação de micelas, desestabilizando balanços hormonais e reações fotossintéticas (Weir et al., 2004). De maneira semelhante, fortes efeitos disruptivos de membranas causados por terpenóides foram encontrados por Dayan & Watson (2011).

A sensibilidade radicular à solução de cumarina sugere a contribuição de fenóis aos efeitos aleloquímicos causados pelos extratos provenientes de material foliar particulado. Esses compostos, encontrados em Pittosporaceae (Peroutka et al., 2007), são capazes de atuar sobre amplo espectro de processos fisiológicos vegetais, mesmo em baixas concentrações (Razavi, 2011). Seus mecanismos de ação geralmente incluem reduções na elasticidade da parede celular, desequilíbrios hormonais de auxinas e bloqueio da respiração mitocondrial (Weir et al., 2004).

Echinochloa crusgalli mostrou-se bastante sensível ao tratamento com o herbicida comercial, cuja inibição incluiu também a parte aérea das plântulas. O princípio ativo N-fosfometil glicina promove a inibição da via do ácido chiquímico, interrompendo a síntese de aminoácidos essenciais e comprometendo todo o eixo hipocótilo-radicular (Malty et al., 2006).

Raízes secundárias foram vistas apenas em plântulas tratadas com água destilada. Pelos, por sua vez, fizeram-se presentes mesmo em radículas curtas ou com extremidades comprometidas. A necrose dos ápices radiculares, consequência convergente para interações moleculares fisiologicamente distintas (Reigosa et al., 2013), foi o principal efeito morfológico observado. Assim, devido à fragilidade estrutural e ao comprimento reduzido, ficou inviabilizada a análise anatômica.

Além do enfoque agrônomo, esse estudo apresenta relevância ecológica ao permitir inferências sobre o papel da alelopatia em processos de invasões biológicas por *Pittosporum undulatum*. Estudos como esse, realizados sob condições controladas utilizando sementes com técnicas de manuseio consolidadas, fornecem subsídios importantes para pesquisas sobre interações aleloquímicas em situações naturais (Reigosa et al., 2013). Após ampla pesquisa em literatura, foi encontrado apenas o trabalho realizado por Tunbridge et al. (2000) abordando ação alelopática do pau-incenso, ainda que em contexto diverso daquele encontrado no Brasil.

A habilidade de *Pittosporum undulatum* de apresentar altas taxas de recrutamento no sub-bosque de florestas subtropicais no Brasil (Karam & Cardoso, 2010) está relacionada à falta de coexistência evolutiva com espécies nativas (Weir et al., 2004). Nesses casos, interações alelopáticas tendem a desempenhar papel crucial (Clements & Ditommaso, 2011). Adicionalmente, a lixiviação, processo contemplado na presente investigação, é um dos principais externalizadores de aleloquímicos em condições naturais (Chou, 2006).

Restos vegetais e liteira podem interferir no desenvolvimento de plantas (Correia et al., 2005; Alsaadawi et al., 2011). Se, por um lado, o conhecimento sobre interações aleloquímicas permite o desenvolvimento de técnicas agrícolas sustentáveis, por outro, há possibilidade de consequências danosas em áreas de cultivo e pastos. A ação inibidora de metabólitos secundários pode ocorrer tanto na germinação e crescimento vegetal como na formação de micorrizas, comprometendo a estabilidade do sistema agrícola (Reigosa et al., 2013).

Em sistemas de rotação de culturas, a externalização de moléculas alelopáticas por restos vegetais pode diminuir a produtividade ou mesmo inviabilizar o cultivo de espécies comerciais (Correia et al., 2005; Chou, 2006). Em pastagens, interações aleloquímicas geralmente acarretam o enfraquecimento do sistema radicular e a diminuição na incorporação de biomassa em plantas forrageiras (Clements & Ditommaso, 2011). O acúmulo de agentes aleloquímicos no solo pode servir como obstáculo à utilização de material vegetal com ação inibitória (Alsaadawi et al., 2011).

A similaridade de efeitos entre os extratos e o herbicida comercial, entretanto, suscita a possibilidade do uso agrícola do pau-incenso. A alelopatia pode ser usada de maneira benéfica em sistemas rotacionais, policultura e como cobertura vegetal na preparação de solos. O isolamento e a produção comercial de metabólitos secundários em substituição aos princípios ativos dos herbicidas convencionais tem se destacado recentemente (Voltarelli et al., 2012; Reigosa et al., 2013).

Para que a utilização das folhas de *Pittosporum undulatum* seja feita de forma responsável, alguns aspectos necessitam ser esclarecidos. A influência fenológica na concentração de metabólitos secundários, o isolamento de aleloquímicos e a possível ação alelopática sobre espécies nativas são linhas de pesquisa que merecem ser desenvolvidas.

Conclusões

Folhas de *Pittosporum undulatum* permanecem com ação alelopática sobre o capim-arroz mesmo após processo lixiviante.

A inibição aleloquímica sobre *Echinochloa crusgalli* ocorre principalmente na fase de plântula.

A necrose do ápice radicular é a alteração morfo-anatômica mais comum para plântulas de capim-arroz submetidas a extratos aquosos foliares de pau-incenso.

Agradecimentos

À Maria Inês Lima e ao Carlos Casale, ambos da UFSCar, pela cordialidade e ajuda nos bioensaios. Ao Antônio Carlos Medeiros, pesquisador aposentado da Embrapa Florestas, pela disponibilidade ao trocar informações acadêmicas. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela Bolsa de Produtividade e Pesquisa concedida ao segundo autor.

Referências

- ABENAVOLI, M.; CACCO, G.; SORGONÁ, A.; MARABOTTINI, R.; PAOLACCI, A.; CIAFFI, M.; BADIANI, M. The inhibitory effects of coumarin on the germination of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*, cv. Simeto) seeds. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 32, n. 2, p. 489-506, 2006.
- ALSAADAWI, I. S.; KHALIQ, A.; AL-TEMIMI, A. A.; MATLOOB, A. Integration of sunflower (*Helianthus annuus*) residues with a pre-plant herbicide enhances weed suppression in broad bean (*Vicia faba*). **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 4, p. 849-859, 2011.
- AROWOSEGBE, S.; WINTOLA, O. A.; AFOLAYAN, A. J. Phytochemical constituents and allelopathic effect of *Aloe ferox* Mill. root extract on tomato. **Journal of Medicinal Plants Research**, New York, v. 6, n. 11, p. 2094-2099, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 399 p.
- CHOU, C. H. Introduction to allelopathy. In: REIGOSA, M. J.; PEDROL, N.; GONSÁLES, L. **Allelopathy: a physiological process with ecological implications**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 1-9.
- CLEMENTS, D. R.; DITOMMASO, A. Climate change and weed adaptation: can evolution of invasive plants lead to greater range expansion than forecasted? **Weed Research**, Oxford, v. 51, n. 3, p. 227-240, 2011.
- CORREIA, N. M.; CENTURION, M. A. P. C.; ALVES, P. L. C. A. Influência de extratos aquosos de sorgo sobre a germinação e o desenvolvimento de plântulas de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 35, n. 3, p. 498-503, 2005.
- DAYAN, F. E.; WATSON, S. B. Plant cell membrane as a marker for light-dependent and light-independent herbicide mechanisms of action. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, San Diego, v. 101, p. 182-190, 2011.
- DURÁN-SERANTES, B.; GONZÁLEZ, L.; REIGOSA, M. J. Comparative physiological effects of three allelochemicals and two herbicides on *Dactylis glomerata*. **Acta Physiologiae Plantarum**, Berlin, v. 24, n. 4, p. 385-392, 2002.
- FERREIRA, N. J.; SOUSA, I. G. M.; LUÍS, T. C.; CURRAIS, A. J. M.; FIGUEIREDO, A. C.; COSTA, M. M.; LIMA, A. S. B.; SANTOS, P. A. G.; BARROSO, J. G.; PEDRO, L. G.; SCHEFFER, J. J. C. *Pittosporum undulatum* Vent. grown in Portugal: secretory structures, seasonal variation and enantiomeric composition of its essential oil. **Flavour and Fragrance Journal**, Chichester, v. 22, n. 1, p. 1-6, 2006.
- GATTI, A. B.; PEREZ, S. C. J. G. A.; LIMA, M. I. S. Atividade alelopática de extratos aquosos de *Aristolochia esperanzae* O. Kuntze na germinação e crescimento de *Lactuca sativa* L. e *Raphanus sativus* L. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 459-472, 2004.
- KARAM, L. M.; CARDOSO, J. H. **Caracterização fitossociológica do impacto de *Pittosporum undulatum* Vent. em três fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual (FESD) na encosta da serra do Sudeste, Pelotas, RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 20 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 127).
- LABORIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington, DC: OEA, 1983. 174 p.
- LAGO, J. H. G.; FAVERO, O. A.; ROMOFF, P. Microclimatic factors and phenology influences in the chemical composition of the essential oils from *Pittosporum undulatum* Vent. leaves. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 17, n. 7, p. 1334-1338, 2006.
- MALTY, J. S.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Efeito do glifosato sobre microorganismos simbióticos de soja, em meio de cultura e casa-de-vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 2, p. 285-291, 2006.
- MEDIA CYBERNETICS INC. **Reference guide for image-pro® plus: version 6.0 for Windows**. Silver Spring, MD, 2006. 832 p.
- MURRAY, R. H. D.; MENDEZ, J.; BROWN, S. A. **The Natural Coumarins: occurrence, chemistry and biochemistry**. Chichester: Wiley, 1982. 702 p.
- OMEZZINE, F.; RINEZ, A.; LADHARI, A.; FAROOQ, M.; HAQUALA, R. Allelopathic potential of *Inula viscosa* against crops and weeds. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, p. 841-849, 2011.
- PEROUTKA, R.; SCHULZOVÁ, V.; BOTEK, P.; HAJŠLOVÁ, J. Analysis of furanocoumarins in vegetables (Apiaceae) and citrus fruits (Rutaceae). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 87, p. 2152-2163, 2007.
- RAHMAN, M.; UNGAR, I. A. The effect of salinity on seed germination and seedling growth of *Echinochloa crusgalli*. **Ohio Journal of Science**, Columbus, v. 90, n. 1, p. 13-15, 1990.
- RAZAVI, S. M. Plant coumarins as allelopathic agents. **International Journal of Biological Chemistry**, v. 5, n. 1, p. 86-90, 2011.
- REIGOSA, M.; GOMES, A. S.; FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. Allelopathic research in Brazil. **Acta Botânica Brasilica**, Porto Alegre, v. 27, n. 4, p. 629-646, 2013.
- RIAR, D. S.; NORSWORTHY, J. K.; BOND, J. A.; BARARPOUR, M. T.; WILSON, M. J.; SCOTT, R. C. Resistance of *Echinochloa crusgalli* populations to Acetolactate Synthase-Inhibiting Herbicides. **International Journal of Agronomy**, New York, v. 2012, p. 1-8, 2012.
- TUNBRIDGE, A.; SIMMONS, D.; ADAMS, R. Allelopathic effects of sweet *Pittosporum undulatum* Vent. on the germination of selected native plant species. **The Victorian Naturalist**, v. 117, n. 2, p. 44-50, 2000.
- VILLELA, F. A.; FILHO, L. D.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 11-12, p. 1957-1968, 1991.
- VOLTARELLI, V. M.; NEPOMUCENO, J. P.; LIMA, M. I. S. Allelopathic potential of *Gleichenella pectinata* (Willd.) Ching on weed plant species. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 26, n. 4, p. 779-784, 2012.
- WEIR, T. L.; PARK, S. W.; VIVANCO, J. M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 7, n. 4, p. 472-479, 2004.

