

CIRCULAR TÉCNICA

153

Londrina, PR  
Setembro 2019

# Efeitos alelopáticos do ácido aconítico: considerações e resultados

Elemar Voll



## Efeitos alelopáticos do ácido aconítico: considerações e resultados<sup>1</sup>

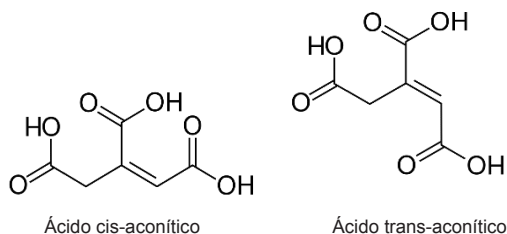
As plantas daninhas são agressivas na competição por água, luz e nutrientes com as plantas cultivadas, sendo elemento vegetal indesejável na agricultura em todas as regiões do mundo, podendo causar enorme redução no rendimento das culturas, desperdício de recursos econômicos e de energia, além de ser, também, um perigo para a saúde humana. A redução do rendimento em grãos de soja, devido a diferentes espécies daninhas, dependendo da sua intensidade e da variedade, pode ser maior do que 50% (Voll et al., 2005).

Segundo Rice (1984), a alelopatia é um fenômeno que comumente ocorre em comunidades de plantas. É um mecanismo pelo qual umas plantas interferem no desenvolvimento de outras, alterando-lhes o padrão e a densidade. Caracteriza-se pela produção e liberação de compostos químicos para o meio ambiente por volatilização, exsudação radicular, decomposição e lixiviação dos resíduos de plantas. Os aleloquímicos afetam todas as funções vivas das plantas como fotossíntese, respiração, nutrição mineral, transpiração, afetando a resistência aos fatores bióticos e abióticos e o crescimento.

O ácido aconítico ( $C_6H_6O_6$ ) (AA), uma substância alelopática, é encontrado principalmente em gramíneas, como trigo (*Triticum aestivum*), aveia (*Avena sp.*) e outras espécies, em sistemas de rotação de culturas, bem como em clarificações de caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e na vinhaça (Hanine et al., 1990). Nas braquiárias, é encontrado na espécie de planta daninha capim-marmelada (*Urochloa plantaginea*) (sin. *Brachiaria plantaginea*), infestante de culturas como a de soja (Voll et al., 2004), bem como na espécie *Urochloa ruziziensis* (sin. *Brachiaria ruziziensis*) (Foletto, 2011), uma gramínea usada em cultivos de pastagens e em consórcios com o milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*), tendo a finalidade de formar pastagens ou controlar espécies de plantas daninhas, como o capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e a buva (*Conyza brasiliensis*) (Adegas et al., 2011). É um açúcar de fórmula estrutural diferenciada, encontrado em maiores quantidades em cana-de-açúcar (Hanine et al., 1990). Apresenta as fórmulas estruturais cis e trans (Figura 1).

---

<sup>1</sup> **Elemar Voll**, engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.



**Figura 1.** Fórmulas estruturais cis e trans do ácido aconítico.

O AA é um componente orgânico importante de estruturas vegetais, sendo exsudado pelas raízes de gramíneas e encontrado na vinhaça, na concentração de 1,8% (Larrahondo et al., 2000). A substância apresenta atividades alelopáticas sobre o banco de sementes de plantas daninhas, tendo mostrado controle sobre a germinação e o crescimento de diversas espécies tanto em observações de campo quanto em laboratório (Voll et al., 2004, 2010).

O AA é um ácido orgânico de baixo peso molecular (174,11 g) e pode ser encontrado na solução do solo, juntamente com outros ácidos, como cítrico, shikímico, oxálico, fumárico, fórmico, acético, malônico, málico e láctico (Hees et al., 2000). Frações de Al e Fe na solução do solo encontram-se ligadas a esses ácidos orgânicos, sendo que sua presença na rizosfera do solo pode ser quantificada por GC ou HPLC (Szmigielska et al., 1997). O composto faz parte da biossíntese dos carboidratos (açúcares) no ciclo do glioxalato, no interior dos glioxissomas, ou do ciclo dos ácidos tricarbóxicos na respiração (Goodwin; Mercer, 1983). O ácido t-aconítico é produzido em plantas como milheto (*Pennisetum glaucum*), aveia, trigo, braquiárias e outras gramíneas, tendo importantes funções fisiológicas no ciclo de Krebs.

Acúmulos de AA foram observados em folhas de plântulas de trigo (Burke et al., 1990; Macfie et al., 1994; Thompson et al., 1997), em extratos da parte aérea e em exsudados de raízes de plântulas de *Agropyron repens* (Friebe et al., 1995), extraídos por etil-acetato e identificados por GC-MS. Em genótipos de sorgo sensíveis ao Al, aumentos nas doses de Al resultaram em aumentos nos teores de AA e ácido succínico na cultivar sensível ICA-Nataima (Galvez et al., 1991). Diferenças de tolerância em genótipos de sorgo também foram observadas (Foy et al., 1990), bem como diferenças de tolerâncias ao alumínio entre cultivares de trigo. Plântulas de trigo sensíveis ao Mn e submetidas

a níveis tóxicos desse elemento apresentaram aumento de 14 vezes nos teores de AA nas folhas, porém, mostraram incrementos menores nos teores de ácido málico e cítrico, em comparação com cultivares tolerantes (Burke et al., 1990). Esses teores não se alteraram nas cultivares tolerantes. Na determinação de diferenças de tolerância a excessos de Mn entre cultivares de trigo observou-se que o excesso desse elemento nas folhas foi acompanhado por aumentos na concentração de AA, alpha-ketoglutarato e succinato somente na cultivar sensível ao Mn (Macfie et al., 1994). Concentrações de 200 µg de AA por g de peso seco de folhas foi suficiente para tornar variedades de milho e sorgo resistentes a pulgões e encontrado na cevada e no trigo (Rustamani et al., 1992). Plantas de capim-arroz (*Echinochloa crus-galli* var. *oryzicola*), com altos teores de AA na planta, mostraram possuir propriedades antinutricionais para o gafanhoto marrom (*Nilaparvata lugens*) (Watanabe et al., 1997).

Diferente das substâncias alelopáticas derivadas por decomposição de palhas (ácidos cumárico, ferúlico, cafeico e outros), uma análise cromatográfica da parte aérea do capim-marmelada indicou a presença de ácido aconítico num teor de 95%, enquanto os ácidos cumárico e ferúlico somaram apenas 5%. Ensaio de laboratório com AA confirmaram resultados de campo, mostrando efeitos alelopáticos e estímulos no desenvolvimento de fungos endofíticos em sementes de trapoeraba (*Commelina benghalensis*) (Voll et al., 2004) e de amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) (Voll et al., 2005).

O AA resulta do metabolismo do açúcar na planta, apresentando a mesma fórmula molecular ( $C_6H_6O_6$ ), porém com estrutura modificada, sendo excretado pelas raízes das plantas para o solo. Os microrganismos endofíticos de sementes, como diversos fungos de solo, considerados patógenos latentes (Melo; Azevedo, 1998), são estimulados a crescer pelo AA, que penetra via solução do solo no interior das sementes, inibindo a germinação. Com a evolução dos fungos, esses se tornam predadores das sementes dormentes. A predominância de espécies de fungos tem variado com as espécies de plantas daninhas (Voll et al., 2005).

Os efeitos do AA traduzem-se na redução do período de sobrevivência das sementes, como da trapoeraba, maior do que aquela obtida com o uso de herbicidas (Voll et al., 1997). Outros relatos sobre o AA indicam sua presença em pastagem de *Agropyron* sp., estimulada pela adubação potássica (Friebe

et al., 1995), também em milho, sorgo, cevada, arroz e trigo, tendo importantes funções fisiológicas (Rustamani et al., 1992; Thompson et al., 1997; Watanabe et al., 1997).

A vinhaça contém em sua solução o AA em quantidades consideráveis (Hanine et al., 1990). A vinhaça é originada ao final do processo de destilação fracionada do caldo de cana-de-açúcar fermentado, é um subproduto da produção do álcool ou da aguardente e do açúcar, frequentemente disponibilizada nas áreas canavieiras, em quantidades variáveis como meio para correção do solo, principalmente do potássio.

Os efeitos do AA diferem em diversas condições de manejo. Guo et al. (2016) observaram que metabólitos produzidos pelo trigo como ácidos orgânicos, aminoácidos, carboidratos e purina diferiam significativamente sob condições de estresse prolongado causado pelo AA, inibindo o ciclo do ácido tricarbóxico, sugerindo o aumento da resistência à seca sob condições de déficit hídrico.

## Braquiárias e alelopatia

Alto teor de ácido aconítico (AA) (95%) ocorre na parte vegetativa de braquiária (*U. plantaginea*), determinado por análise cromatográfica (Voll et al., 2004), que em ensaios preliminares mostrou efeitos alelopáticos e estímulo ao aparecimento de fungos endofíticos nas sementes (Melo; Azevedo, 1998). Outros relatos sobre o AA indicam sua maior ou menor concentração em pastagens como em *Agropyron* sp. (Grunes et al., 1992), presente em variedades de milho, sorgo, cevada e trigo (Rustamani et al., 1992).

Em testes de laboratório, a substância indicou possuir efeitos alelopáticos sobre as sementes de diversas espécies de plantas daninhas, como em amendoim-bravo, picão-preto (*Bidens pilosa*), guanxuma (*Sida rhombifolia*) e corda-de-viola (*Ipomoea grandifolia*), com estímulo ao desenvolvimento de fungos endofíticos nas sementes (Voll et al., 2010). Os efeitos sugerem a possibilidade de aumentar a eficiência de controle de espécies de plantas daninhas a campo, possibilitando a redução das aplicações de herbicida com a redução da sobrevivência das mesmas.

Voll (1989) instalou um experimento sequencial de trigo-soja em plantio direto que foi conduzido por cinco anos, com ou sem a aplicação anual de herbicidas nas coberturas de palha de trigo ou braquiária resultantes da sua presença na cultura da soja sem a aplicação de herbicidas. No levantamento do Banco de Sementes da área experimental, foram determinadas as espécies de plantas daninhas na camada superficial do solo, nas profundidades de 05 cm, 05 a 10 cm e 10 a 20 cm. Numa área de parcela de 10 m<sup>2</sup> foram obtidas 10 amostras de solo com o auxílio de um trado tubular de 5,0 cm de diâmetro. Manipuladas adequadamente em sacos plásticos e depois de secas ao ar, as amostras foram submetidas à lavagem do solo em peneira de malhas 0,5 mm, sob água corrente de torneira, para eliminação da argila. Depois de deixadas a secar à sombra, as amostras foram flotadas em solução de CaCl<sub>2</sub>.7H<sub>2</sub>O, com densidade de 1,42 g ml<sup>-1</sup>, para separar a areia. A solução permitiu a separação das sementes sobrenadantes das espécies mais importantes e significativas em número. Ao final, as palhas presentes provenientes das coberturas de manejo foram separadas das sementes por catação ou fluxo de ar e contadas. A determinação do banco de sementes, ou seja, a estimativa do número de sementes por volume de solo/área foi feita uma vez ao ano, posteriormente à colheita da soja e pelos cinco anos de condução do experimento. Reduções anuais das sementes de infestantes foram representadas por ajuste de curvas de regressão, que permitiram determinar estimativas de períodos de sobrevivência das sementes sob as condições de manejo apresentadas, especialmente para as infestantes anuais braquiária e trapoeraba.

Resultados de pesquisas com o AA, com dados de campo, são apresentados na Tabela 1. Ao compararem-se manejos de solo na cultura da soja sem o controle químico da braquiária, observou-se que, em semeadura convencional, a presença da braquiária na superfície do solo reduziu a duração da sobrevivência estimada das sementes de trapoeraba, de 42 para 21 anos e, em semeadura direta, de 21 para 13 anos. Em ambos os manejos ocorreu redução significativa da sobrevivência da trapoeraba quando a intensa vegetação de braquiária foi permitida (Voll et al., 1997). Resultado semelhante foi obtido para carrapicho-de-carneiro (*Acanthospermum hispidum*).

**Tabela 1.** Efeitos da cobertura de capim-marmelada sobre a sobrevivência de um banco de sementes de trapoeraba (*C. benghalensis*), em área de soja, numa sequência de cinco anos, em dois sistemas de manejo.

Manejo do solo	Capim-marmelada (%) *	Controle de Trapoeraba (%)
Semeadura convencional	100	42
	0	21
Semeadura direta	100	22
	0	13

\* Estimativas.

Fonte: Voll et al. (1997).

Some-se a importância complementar de culturas como o trigo (Liebel; Worsham, 1983) ou aveia (Jacobi, 1997) na redução do banco de sementes de determinadas espécies de plantas daninhas, tanto no estado vegetativo quanto na fase de palhada. Ambas as gramíneas produzem quantidades suficientes para manifestar efeitos alelopáticos. Por extensão, podem-se considerar os efeitos favoráveis dos cultivos com pastagens no controle de diversas espécies daninhas, inclusive ocorrendo por maior período de tempo. Espécies como o amendoim-bravo e o picão-preto, que apresentam curtos períodos de sobrevivência (Voll et al., 2001), inclusive os biótipos resistentes a herbicidas, podem ser significativamente reduzidos nos plantios seguintes.

Souza Filho et al. (2005) isolaram e identificaram o ácido *p*-cumárico na graminéa forrageira *Brachiaria humidicola*. Todas as partes da planta mostraram atividade alelopática, sendo a parte aérea a principal fonte. Chou (1989) pesquisou a espécie *Brachiaria mutica* isolando e identificando substâncias químicas com atividade alelopática, como ácido ferúlico, ácido 2,4-diidroxibenzóico, ácido vanílico, ácido *p*-hidroxibenzóico e ácido *p*-hidroxifenilacético.

## Efeitos sobre a germinação, crescimento e modo de ação do ácido t-aconítico

Trabalhos de dissertação e tese de estudantes de pós-graduação (Folletto, 2011; Kagami, 2012; Kern-Cardoso, 2012) foram conduzidos com o ácido t-aconítico (AA) com a finalidade de determinar os seus efeitos sobre o cres-

cimento, a fisiologia e o modo de ação nas espécies de plantas daninhas. Com semelhante propósito foram avaliados os efeitos dos compostos ativos da palhada de *U. ruziziensis*. Os trabalhos de pesquisa foram conduzidos no Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Área de Concentração de Biologia Celular e Molecular, da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Paraná.

Foletto (2011) e Foletto et al. (2012) determinaram os efeitos do ácido t-acnótico (AA) na germinação, no crescimento inicial e em estádios mais avançados da espécie corda-de-viola. Seus efeitos foram também observados em extratos aquosos de folhas e caules de *U. ruziziensis*. O AA reduziu o índice de velocidade de germinação e a eficiência do uso da água e a transpiração, sem reduzir a germinação, inibindo o crescimento da raiz, em maior grau, reduzindo a produção de massa seca da raiz e do caule de corda-de-viola. A assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, e a concentração intercelular, foi reduzida, bem como a condutância estomática e o índice SPAD, para clorofila.

Kagami (2012) determinou o mecanismo envolvido na ação alelopática do ácido t-acnótico (AA) e seus efeitos, também encontrado nas folhas e caules de *U. ruziziensis*, sobre a planta daninha corda-de-viola. O seu comprimento inicial e a massa seca da plântula foi reduzido pela fração aquosa e pelo AA. A assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, a carboxilação imediata do sistema fotossintético e a eficiência do uso da água foram inibidas pela fração aquosa. O AA não afetou as trocas gasosas. Outras substâncias inibitórias poderiam agir sinergicamente na fração aquosa, afetando o alongamento celular e/ou a divisão celular e a massa seca. Além disso, algum composto na fração aquosa altera a eficiência carboxilativa da fase bioquímica da fotossíntese.

Kern-Cardoso (2012) determinou o potencial fitotóxico dos compostos químicos extraídos das folhas de *U. ruziziensis*, avaliado nas espécies de plantas daninhas amendoim bravo e *Arabidopsis thaliana*. As diversas frações de extratos, entre elas a fração aquosa, foram ativas. A velocidade de germinação foi reduzida. O comprimento da raiz foi a variável mais sensível, seguida do comprimento do caule e a biomassa seca. A atividade respiratória dos ápices das raízes primárias aumentou. A catalase foi estimulada. A atividade de enzimas antioxidantes foi aumentada. Os efeitos da fração aquosa da *U. ruziziensis* e do AA foram investigados avaliando o crescimento, a morfoanatomia, a ultraestrutura celular e a micromorfologia de raízes de *A. thaliana*.



## Efeitos de manejo das culturas

O uso de sistemas de rotação de culturas, que deixam palha remanescente das colheitas sobre o solo, representa um manejo útil para o controle de espécies de plantas daninhas, por meio do sombreamento e da liberação de substâncias orgânicas (alelopáticas), que podem influenciar no estabelecimento e desenvolvimento dessas plantas daninhas (Souza Filho et al., 1997; Severino; Christoffoleti, 2001).

Segundo Voll et al. (1995, 1997) o uso da semeadura direta trigo-soja e a inclusão de gramíneas, como a braquiária, tem reduzido a sobrevivência de espécies daninhas, o que, juntamente com a ocorrência de efeitos alelopáticos, melhora a eficiência de controle e reduz as doses e o número de aplicações de herbicidas. Diferentes manejos da cultura da soja após trigo, em uma sequência de cinco anos, na ausência de controle de braquiária, mostraram uma redução no período de sobrevivência de um banco de sementes de trapoeraba (Voll et al., 1997), sendo maior do que com controles anuais de herbicidas. A redução do banco de sementes de espécies que venham a germinar se dá por alelopatia, destruição das sementes dormentes e, com a introdução do AA via tegumentos permeáveis, resultando no estímulo ao desenvolvimento de fungos endofíticos (Voll et al., 2005).

As alternativas de manejo são dinâmicas e podem ser modificadas com o tempo. Assim, têm-se alterações nos bancos de sementes, como ocorridos com a buva e o capim-amargoso, que anteriormente eram controladas satisfatoriamente na cultura da soja e, atualmente, evoluíram para problemas de resistência a herbicidas. A manutenção das palhas em plantio direto permite a cobertura do solo e seu sombreamento, dificultando a germinação das plantas daninhas.

A adoção do consórcio do milho-safrinha + *U. ruziziensis* apresenta benefícios indiretos da cobertura no plantio direto com o controle das espécies daninhas como capim-amargoso e da buva (Oliveira; Brighenti, 2018), com aumento significativo da produtividade da soja, considerando-se a presença do AA. Em sistemas consorciados de produção, como milho-safrinha e braquiária, as espécies utilizadas estão sujeitas à competição entre si, além da matocompetição naturalmente exercida pelas plantas daninhas, o que torna necessário o manejo com herbicidas na área, para controlar as plantas

daninhas e suprimir apenas parcialmente a forrageira (Adegas et al., 2011). Com a retirada do milho, ocorrem condições favoráveis ao crescimento da pastagem da braquiária. Estudos de épocas de dessecação de braquiária após a colheita do milho indicaram que o melhor período para o seu manejo químico com glyphosate está entre 10 e 20 dias antes da sementeira da soja (Santos et al., 2007; Nunes et al., 2009; Monquero et al., 2010; Nepomuceno et al., 2012). A dessecação no mesmo dia da sementeira da soja reduziu a altura das plantas, o número de vagens por planta e a produtividade de grãos. Franchini et al. (2014) observaram que diferentes intervalos no manejo da dessecação da braquiária (*U. ruziziensis*) e a sementeira da soja não resultou em efeitos significativos sobre a produção de três cultivares de soja, quando a altura de corte da pastagem foi deixada a 35 cm de altura.

Segundo Almodares et al. (2010) o sorgo sacarino é adaptado às condições climáticas quentes e secas, cultivado só, no caso, ou em sistemas consorciados de produção, com braquiárias. Um experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos de três tratamentos com nitrogênio e três estágios de colheita nos teores de ácido aconítico, de fibra e de açúcar invertido, de três cultivares de sorgo sacarino. Os resultados mostraram que os efeitos foram significativos. Assim, tratamentos com nitrogênio, a aplicação de 100 kg ha<sup>-1</sup> de uréia no plantio e 200 kg ha<sup>-1</sup> no estádio de 4 folhas, apresentou o maior teor de ácido aconítico (0,26%) e de açúcar invertido (3,44%). Duas cultivares, apresentaram maior teor de ácido aconítico (0,26%) e de açúcar invertido (3,86%). A planta colhida no estádio de 4 folhas apresentou o maior teor de ácido aconítico (0,26%) e o maior de açúcar invertido (3,85%).

Por sua vez, Armas e Casanovas (1984) observaram que o AA e K têm sido altamente correlacionados. Aplicações de K em gramíneas, segundo Grunes et al. (1992), têm aumentado os teores de ácido t-aconítico em folhas de *Agropyron desertorum* cv. Norden e *Bromus inermis* cv. Lincoln, não acumulando em *Lolium perenne*. Koseki e Takahashi (1980) concluíram a possibilidade de que o “grass tetany” ou tétano das pastagens aumentou com a fertilidade do solo e que a acumulação do AA foi importante nessa manifestação. Bohman et al. (1983) observaram a ocorrência de “tetany” com o aumento da fertilização com K em áreas de trigo pastejadas. Segundo Bureau e Stout (1965) o íon de ácido t-aconítico (AA) é um inibidor do ciclo de ácido tricarbó-

xílico, identificado em pastagens. As concentrações variam conforme as espécies e a estação de crescimento. O AA parece ser parcialmente responsável por distúrbios nutricionais, como o tétano das pastagens, que ocorre em gado no pastejo em inícios de primavera, devidas à aplicações de potássio.

Manejos na soja precedidos por cultivos de gramíneas, como de milho, e fertilização com potássio (K) feita antecipadamente nessa cultura em solos arenosos, têm resultado em aumento da biomassa de milho e na produção de soja, segundo Benites et al. (2009). Esse manejo deve apresentar benefícios no controle de plantas daninhas, pela elevação dos teores de AA

Na produção de trigo tem-se indicado para plantio uma variedade com dupla finalidade, de pastejo e produção de trigo, havendo a possibilidade de aplicar uma adubação com potássio, ou com NPK, obtendo semelhantes vantagens, como proposto por Lantmann et al. (1996). Segundo Meinerz et al. (2012) resultados econômicos foram obtidos com trigo (BRS Tarumã), de duplo propósito, destinado tanto à produção de grãos quanto para o pastejo dos animais, com os mesmos efeitos do cultivo do trigo e de manejo de suas palhas, em relação aos controles de espécies daninhas.

Reigosa e Pazos-Malvido (2007) observam que os possíveis efeitos inibitórios de substâncias alelopáticas podem ser mais evidentes no crescimento da raiz de plantas quando não são adicionados nutrientes.

## Efeitos alelopáticos em sementes de plantas daninhas

Experimentos em condições de laboratório (Voll et al., 2008) foram realizados sobre espécies de plantas daninhas, como amendoim-bravo, guanxuma, picão-preto e corda-de-viola, de diferentes locais de origem do Paraná com o objetivo de determinar os efeitos alelopáticos do AA. Os resultados indicaram que a origem das sementes teve influência nos resultados de germinação obtidos. Populações da mesma espécie, originadas dos diferentes locais do Paraná, manifestaram efeitos alelopáticos variados do AA, podendo não apresentar redução na germinação (Tabela 2). No entanto, todas as sementes que germinaram mostraram redução de crescimento, sendo que as raízes foram mais afetadas do que o caule.

Para as sementes de corda-de-viola foi acrescentado um tratamento anterior de escarificação com ácido sulfúrico, devido ao seu tegumento impermeável. No caso, a germinação dessas sementes, sem ou com AA, não diferiram entre si. Por sua vez, com a escarificação mais AA (SuAA) a germinação aumentou. No entanto, após a emergência, os comprimentos de caule e raiz foram reduzidos com a aplicação do AA.

**Tabela 2.** Efeitos do ácido aconítico (2,5 mM) na germinação, no comprimento do caule e da raiz de amendoim-bravo, guanxuma, picão-preto e corda-de-viola, aos 12 dias, em diferentes locais do Estado do Paraná, em 2006.

Espécie/Local	Germinação (%)		Caule (mm)		Raiz (mm)	
	Ácido aconítico		Ácido aconítico		Ácido aconítico	
	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com
<b>Amendoim-bravo</b>						
Toledo	95,0 aA <sup>2</sup>	94,0 aA	62,9 aA	28,3 bB	47,7 cA	5,2 aB
Santa Terezinha de Itaipu	89,5 aA	64,0 bB	64,3 aA	35,1 bB	33,5 bA	4,1 aB
Peabiru	16,0 cA	9,0 cA	38,6 bA	27,0 bB	32,4 bA	6,4 aB
<b>Guanxuma</b>						
São Sebastião da Amoreira	61,0 aA	49,0 aB	1,63 aA	0,65 aB	2,05 aA	0,15 aB
Santa Terezinha de Itaipu	25,5 bA	25,0 bA	1,73 aA	0,40 aB	2,63 aA	0,15 aB
<b>Picão-preto</b>						
Campo Mourão	38,8 bA	19,3 aB	2,09 aA	0,51 aB	1,83 aA	0,56 aB
Santa Cecília do Pavão	47,8 cA	37,5 bB	3,75 bA	0,53 aB	2,38 aA	0,51 aB
<b>Corda-de-viola<sup>1</sup></b>						
SAA	15,9	a	3,8	a	3,4	a
CAA	17,3	a	1,0	b	0,2	b
Su+AA	26,6	b	1,3	b	0,2	b

<sup>1</sup> SAA/CAA = sem/com ácido aconítico; Su+AA = ácido sulfúrico + ácido aconítico.

<sup>2</sup> Médias das avaliações seguidas pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Voll et al. (2008).

A avaliação posterior de fungos endofíticos sobre as sementes (Tabela 3) indicou a presença dominante de *Aspergillus* e *Fusarium*, estimulados pelo AA. Na corda-de-viola, somente a escarificação possibilitou o aumento dos efeitos do AA, estimulando maior presença de fungos em alguns locais. Generalizando, o AA apresentou uma intensidade de efeitos alelopáticos variáveis com o local de origem sobre diferentes espécies de plantas daninhas, estimulando o desenvolvimento de diversos fungos endofíticos nas sementes. Seus efeitos devem resultar na redução dos períodos de sobrevivência dos bancos de sementes de espécies de plantas daninhas no solo.

**Tabela 3.** Efeito do ácido aconítico (2,5 mM) sobre a ocorrência e intensidade de fungos endofíticos em sementes de amendoim-bravo, guanxuma, picão-preto e corda-de-viola de diferentes locais do Estado do Paraná, em 2006.

Espécie/Local	<i>Aspergillus</i> sp. (%)		<i>Fusarium</i> sp. (%)	
	Ácido aconítico		Ácido aconítico	
	Sem	Com	Sem	Com
<b>Amendoim-bravo</b>				
Toledo	0,3 aA <sup>2</sup>	2,0 aA	0,3 aA	0,0 aA
Santa Terezinha de Itaipu	0,5 aB	9,0 bA	0,5 aB	8,5 cA
Peabiru	0,0 aB	8,0 bA	2,5 aA	4,3 bA
<b>Guanxuma</b>				
São Sebastião da Amoreira	0,0	0,5	17,3 aB	36,5 bA
Santa Terezinha de Itaipu	0,0	0,5	13,0 aA	20,0 bA
<b>Picão-preto</b>				
	<i>Bipolaris</i> sp. (%)		<i>Fusarium</i> sp. (%)	
Campo Mourão	1,8 aB	15,0 bA	2,8 aA	3,0 aA
Santa Cecília do Pavão	0,8 aA	3,5 aA	2,0 aA	4,0 aA
<b>Corda-de-viola<sup>1</sup></b>				
	Somatório de espécies (%)			
SAA	13,6 a			
CAA	11,9 a			
Su+AA	29,8 b			

<sup>1</sup>SAA/CAA = sem/com ácido aconítico; Su+AA = ácido sulfúrico + ácido aconítico.

<sup>2</sup>Médias de fungos endofíticos seguidas pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: Voll et al. (2008).

Resultados de Voll (2005), em experimento com ácido t-aconítico analítico nas doses de 0, 1, 2 e 3 mMol, em caixas gerbox e em câmara de crescimento, indicaram que a emergência das plantas daninhas corda-de-viola, picão-preto e capim-colchão (*Digitaria horizontalis*) foi reduzida pela aplicação de vinhaça após 7 dias da sementeira.

A redução da germinação de sementes de amendoim-bravo, entre outras, pelo AA, estabelece menor população de plantas daninhas competidoras com uma cultura. A redução da altura de plantas daninhas favorece a cultura quanto à captação de luz. A redução do comprimento da raiz é o efeito mais importante, porque pode reduzir a competição com a cultura por água e nutrientes. Em um período de seca, o estabelecimento de plantas daninhas e a sua competição com a cultura seriam favorecidos, considerando que as espécies daninhas são mais rústicas que as plantas cultivadas.

## Efeitos alelopáticos na soja

Associado às condições climáticas, como condições de temperatura e luz, de manejo e beneficiamento, o AA é um dos componentes que pode afetar o estabelecimento de uma lavoura de soja, com efeitos no estande de plantas e no seu crescimento.

Verma e Rao (2006) avaliaram efeitos alelopáticos de influência inibitória e estimulatória de extratos aquosos de espécies daninhas sobre a germinação de sementes, crescimento de plântulas, teor de proteína e características de seis variedades de soja. Foram coletadas partes aéreas de quatro espécies de plantas daninhas dominantes, mentastro (*Ageratum conyzoides*), grama-seda (*Cynodon dactylon*), maria-pretinha (*Solanum nigrum*) e fazendeiro (*Parthenium hysterophorus*), em campos de soja em fase de maturação, na região central do Brasil. Na base de redução percentual em diferentes parâmetros, as variedades Bragg e PS-1042, e Shilajeet foram resistentes e suscetível, respectivamente, para diferentes extratos de plantas daninhas. Entre os extratos de ervas daninhas, o de *S. nigrum* foi mais eficaz em inibir os parâmetros medidos, seguido por *P. hysterophorus* em comparação com os outros. O teor total de proteínas das variedades foi aumentado com todos os extratos de ervas daninhas, exceto em Bragg com *C. dactylon* e *P.*

*hysterophorus*; PS-1042 com *A. conyzoides*; e diminuindo em Shilajeet com *C. dactylon*. O padrão de bandas de proteína das variedades não só diferiu entre o controle e os tratamentos, mas também entre tratamentos. A ordem de suscetibilidade das variedades de soja aos diferentes extratos de plantas daninhas foi: Ankur> PK-416 > Bhatt> Shilajeet> Bragg > e PS-1042.

Voll et al. (2009), em experimento conduzido em laboratório, determinaram os efeitos de AA sobre a germinação e o crescimento de 13 cultivares de soja. Entre as cultivares testadas, foram incluídas algumas com boas qualidades para a alimentação humana e uma indicada para estabelecimento em área de renovação de cana-de-açúcar. Os resultados indicaram que os efeitos alelopáticos do ácido aconítico podem interagir com os genótipos de soja afetando a germinação, a taxa de plantas normais, redução do crescimento do caule e principalmente das raízes das plantas. Algumas cultivares destinadas à alimentação humana, como BRS 258, BRS 257 e Embrapa 48, foram menos afetadas. Isso é muito importante nas condições de soja orgânica, após o estabelecimento de pastagens de gramíneas (*U. ruziziensis*), com exsudações de ácido aconítico pelas raízes, ou pelo uso de vinhaça de cana, aplicada em áreas de produção de soja orgânica. A cultivar BRS 133 mostrou-se bastante sensível, porém, foi indicada para sucessão em renovação de canaviais, devendo ter relação com a proximidade do período de semeadura da soja.

Diferentes genótipos de aveia em ciclo inicial e final podem apresentar diferenças de atividade inibitória entre os mesmos (Jacobi, 1997). Os aleloquímicos apresentaram maior fitotoxicidade para as infestantes do que para as culturas. Tais efeitos foram produzidos pelo aleloquímico escopoletina, segundo Jacobi e Fleck (2000).

Aplicações de controle das coberturas, nas dessecações antecipadas à cultura da soja, tem liberado AA para o solo, inibindo o crescimento da cultura, bem como a sua fotossíntese, provocando aumentos de  $H_2O_2$  nas raízes e a permeabilidade da sua membrana, reduzindo a absorção de água e a condutância estomatal (Bortolo et al., 2018).

Aplicação suplementar de nitrogênio em plantas de sorgo, elevando a fertilidade do solo, em estágios mais avançados de colheita, tem apresentado maior produção de AA (Almodares et al., 2010).

A presença de microfissuras no tegumento da soja, devido a danos mecânicos comumente associados às operações de colheita e beneficiamento, constitui um problema sério para produção de sementes de alta qualidade, quando combinadas ao tratamento químico de sementes, afetando o seu vigor (Oliveira, 2017). Sementes de cultivares de soja com alto vigor, colhidas manualmente, não apresentaram redução na germinação, porém tiveram maior ou menor grau de redução do caule e, principalmente das raízes (Voll et al., 2009).

## O uso complementar da vinhaça

A produção anual de cana-de-açúcar no Brasil é da ordem de 635 milhões toneladas por ano, sendo 35,8% direcionada para produção de álcool e 64,2% para açúcar (Conab, 2018), tendo havido uma profusão acentuada da cultura e a construção de muitas usinas com finalidades de produção de etanol, em função das necessidades energéticas, que visam substituir fontes naturais derivadas do petróleo.

Um subproduto da cana, a vinhaça, é disponibilizada atualmente em grandes quantidades pelas usinas de produção de açúcar e de álcool estimuladas pelo Pró-álcool desde 1980. A vinhaça é um resíduo poluente (Gutierrez et al., 1988), que se constitui em um dos grandes problemas ambientais quando lançada nos meios hídricos, pois apresenta alta demanda bioquímica de oxigênio. A sua aplicação como fertilizante resulta em reposição do teor de K no solo e de estímulo à produção do ácido *t*-aconítico. A vinhaça apresenta teores variáveis de AA (Hanine et al., 1990), em função da época de produção, reduzindo-se por ocasião da maturação. O seu uso complementar em áreas de cultivo da soja, reduz infestações de espécies daninhas (Voll et al., 2004, 2010), reduzindo aplicações de herbicidas, bem como substituir adubações potássicas, como na cultura de soja (Oliveira et al., 2008), devendo ser adequadamente usada, com antecedência.

A aplicação da vinhaça em sistemas orgânicos de produção, por ocasião da renovação dos canaviais resolve, em parte, os problemas econômicos da utilização e distribuição do potássio, considerando que atualmente o Brasil importa cerca de 90% do adubo potássico necessário à produção agrícola.



A relação entre teores de AA foi determinada entre diferentes cultivares de cana-de-açúcar, proveniente de várias regiões de produção. Segundo Mane et al. (2002), Montoya et al. (2014) e Udén (2018), os teores variam de acordo com as cultivares e com o estágio de desenvolvimento no qual a cana é colhida e processada. Teores de AA tendem a decrescerem na vinhaça a medida que a cana avança.

A quantificação do teor de ácido aconítico na vinhaça, obtido por cromatografia líquida de alta performance, em material coletado na Usina de Açúcar e Álcool da COROL em 02/09/2003 e analisado na Embrapa Soja, indicou os teores de Ca = 1,24 g L<sup>-1</sup>, K = 4,18 g L<sup>-1</sup>; Mg = 0,46 g L<sup>-1</sup> e ácido aconítico = 11,84 g L<sup>-1</sup>, sendo variável com as condições do material coletado na época (Voll, 2005).

Em experimento com 10 cultivares de soja, a aplicação de vinhaça nas doses de 50 a 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, por ocasião da semeadura, resultou em um decréscimo médio de 5 a 6% na produtividade média da soja (dados não publicados).

## Considerações finais

Os efeitos do ácido t-aconítico (AA) traduzem-se na redução do período de sobrevivência das sementes de espécies daninhas no banco de sementes do solo, maiores do que aqueles obtidos com o uso de herbicidas, com controles anuais que impeçam a sua sementação e reposição dos bancos de sementes das espécies.

O AA como componente orgânico é importante no metabolismo dos vegetais, sendo exsudado pelas raízes de gramíneas principalmente, como nas braquiárias. Frações de Al e Fe da solução do solo, ligadas a diversos ácidos orgânicos como o AA, podem reduzir a sua atividade e efeitos alelopáticas sobre o banco de sementes de plantas daninhas.

Consórcios, ou não, de braquiárias com milho ou sorgo, e o cultivo de milho antecedendo a cultura da soja, são indicações sustentáveis de condução de lavouras produtivas. Relatos indicam que a presença do AA em algumas pastagens de espécies gramíneas é estimulada pela adubação potássica.

Aplicações antecipadas de potássio para a soja, feitas em gramíneas como o milheto, têm sido favoráveis a aumentos de produção.

## Referências

ADEGAS, F. S.; VOLL, E; GAZZIERO, D. L. P. Manejo de plantas daninhas em milho safrinha em cultivo solteiro ou consorciado à braquiária ruziziensis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1226-1233, 2011.

ALMODARES, A.; RANJBAR, M.; HADI, M. R. Effects of nitrogen treatments and harvesting stages on the aconitic acid, invert sugar and fiber in sweet sorghum cultivars. **Journal of Environmental Biology**, v. 31, n. 6, p. 1001-1005, 2010.

ARMAS, R.; CASANOVAS, H. Influencia del potasio sobre el contenido de ácido aconítico en la caña de azúcar. **Ciencias de la Agricultura**, v. 21, p. 31-36, 1984.

BENITES, V.; POLIDORO, J. C.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L.; MENEZES, J. F. S.; GOMES, G. V.; EVANGELISTA, C. C. M. Adubação antecipada de potássio sobre diferentes plantas de cobertura antes da soja em sistema plantio direto. **Direto no Cerrado**, v. 14, n. 65, p. 16-17, 2009.

BOHMAN, V. R.; HORN, F. P.; STEWART, B. A; MATHERS, A. C.; GRUNES, D. L. Wheat pasture poisoning. I. An evaluation of cereal pastures as related to tetany in beef cows. **Journal of Animal Science**, v. 57, n. 6, p. 1352-1363, 1983.

BORTOLO, T. S. C.; MARCHIOSI, R.; VIGANÓ, J.; SIQUEIRA-SOARES, R. C.; FERRO, A. P.; BARRETO, G. E.; BIDO, G. S.; ABRAHÃO, J.; SANTOS, W. D.; FERRARESE FILHO, O. *Trans*-aconitic acid inhibits the growth and photosynthesis of *Glycine max*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 490-496, 2018.

BURAU, R.; STOUT P. R. *Trans*-aconitic acid in range grasses in early spring. **Science**, v. 150, p. 766-767, 1965.

BURKE, D. G.; WATKINS, K.; SCOTT, B. J. Manganese toxicity effects on visible symptoms, yield, manganese levels, and organic acid levels in tolerant and sensitive wheat cultivars. **Crop Science**, v. 30, n. 2, p. 275-280, 1990.

CHOU, C. H. Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan. IV. Comparative phytotoxic nature of leachate from four subtropical grasses. **Journal of Chemical Ecology**, v. 15, n. 7, p. 2149-2159, 1989.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar**. Brasília, DF: CONAB, 2018. 77 p. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/17026\\_e0504d08aca77ee13e86c2e7e7f43424](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/17026_e0504d08aca77ee13e86c2e7e7f43424)>. Acesso em: 26 abr. 2018.

FOLETTI, M. P. **Efeitos alelopáticos da fração aquosa da *Brachiaria ruziziensis* L. e do ácido aconítico sobre a planta daninha *Ipomoea triloba* L.** 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

FOLETTO, M. P.; KAGAMI, F.; VOLL, E.; KERN-CARDOSO, K. A.; PERGO-COELHO, E. M.; ROCHA, M.; SILVA, A. A.; SARRAGIOTTO, M. H.; ISHII-IWAMOTO, E. L. Allelopathic effects of *Brachiaria ruziziensis* and aconitic acid on *Ipomoea triloba* weed. **Allelopathy Journal**, v. 30, n. 1, p. 33-48, 2012.

FOY, C. D.; LEE, E. H.; CORADETTI, C. A.; TAYLOR, G. J.; Organic acid related to differential aluminium tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. **Developments in Plant and Soil Sciences**, v.41, p. 381-389, 1990. Edição dos proceedings do 11º International Plant Nutrition Colloquium, Wageningen, 1989.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Soybean performance as affected by desiccation time of *Urochloa ruziziensis* and grazing pressures. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 999-1005, 2014.

FRIEBE, A.; SCHULZ, M.; KUCK, P.; SCHNABL, H. Phytotoxins from shoot extracts and root exudates of *Agropyron repens* seedlings. **Phytochemistry**, v. 38, n. 5, p. 1157-1159, 1995.

GALVEZ, L.; CLARK, R. B.; KLEPPER, L. A.; HANSEN, L.; WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRMANN, R. P. Organic acid and free proline accumulation and nitrate reductase activity in sorghum (*Sorghum bicolor*) genotypes differing in aluminum tolerance. **Developments in Plant and Soil Sciences**, v. 45, p. 859-867, 1991. Edição dos proceedings do 2º International Symposium on Plant-soil Interactions at Low pH, Beckley, 1990.

GOODWIN, T. W.; MERCER, E. I. **Introduction to plant biochemistry**. 2nd. ed. New York: Pergamon Press Inc., 1983. 677 p.

GRUNES, D. L.; HUANG, J. W.; SMITH, F. W.; JOO, P. K.; HEWES, D. A. Potassium effects on minerals and organic acids in three cool-season grasses. **Journal of Plant Nutrition**, v. 15, n. 6-7, p. 1007-1025, 1992.

GUO, R.; ZHOU, J.; YANG, F.; LI, F.; LI, H. R.; XIA, X.; LIU, Q. Growth metabolism of wheat under drought stress at the jointing-booting stage. **Chinese Journal of Plant Ecology**, v. 40, n. 12, p. 1319-1327, 2016.

GUTIERREZ, S. L. E.; FERRARI, E.; GERALD, L. T. S.; ORELLI JR., A. A. Efeito da aplicação de vinhaça como fertilizante sobre os teores de ácido trans-aconítico de caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 45, p. 453-462, 1988.

HANINE, H.; MOURGUES, J.; MOLINIER, J. Aconitic acid removal during cane juice clarification. **International Sugar Journal**, v. 92, n. 1103, p. 219-220, 230, 238, 1990.

HEES, P. A. W. van; LUNDSTROM, U. S.; GIESLER, R. Low molecular weight organic acids and their Al-complexes in soil solution - composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. **Geoderma**, v. 94, n. 2-4, p. 173-200, 2000.

JACOBI, U. S. **Avaliação do potencial alelopático de Avena sp. L.** 1997. 165 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

JACOBI, U. S.; FLECK, N. G. Avaliação do potencial alelopático de genótipos de aveia no início do ciclo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 11-19, jan. 2000.

- KAGAMI, F. L. **Efeitos da fração aquosa da *Brachiaria ruziziensis* L. e do ácido trans-acônico na germinação e no crescimento da planta daninha *Ipomoea grandifolia***. 2012. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- KERN-CARDOSO, K. A. **Efeitos dos compostos ativos da palhada de *Brachiaria ruziziensis* sobre *Euphorbia heterophylla* e a *Arabidopsis thaliana*: estudos bioquímicos, ultraestruturais e micromorfológicos**. 2012. 102 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- KOSEKI, J.; TAKAHASHI, T. Studies on the organic acid component of common grasses in relation to the outbreak of grass tetany in grazing cattle. 3. Accumulation of t-aconic acid in pasture. **Journal of Japanese Society of Grassland Science**, v. 26, n. 1, p. 67-73, 1980.
- LANTMANN, A. F.; ROESSING, A. C.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Adubação fosfatada e potássica para sucessão soja-trigo em Latossolo Roxo Distrófico sob semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 44 p. (Embrapa-Soja. Circular Técnica, 15).
- LARRAHONDO, J. E.; MORALES, A. A.; VICTORIA, M. H.; JARAMILLO, A. Compuestos orgánicos en vinaza. **Carta Trimestral Cenicana**, v. 22, n. 3, p. 5-7, 2000.
- LIEBEL, R. A.; WORSHAM, A. D. Inhibition of pitted morning glory (*Ipomoea lacunosa* L.) and certain other weed species by phytotoxic components of wheat (*Triticum aestivum* L.) straw. **Journal of Chemical Ecology**, v. 9, n. 8, p. 1027-1043, 1983.
- MACFIE, S. M.; COSSINS, E. A.; TAYLOR, G. J. Effects of excess manganese on production of organic acids in Mn-tolerant and Mn-sensitive cultivars of *Triticum aestivum* L. (wheat). **Journal of Plant Physiology**, v. 143, n. 2, p. 135-144, 1994.
- MANE, J.; KUMBHAR, D. L.; BARGE, S. C.; PHADNIS, S. P. Relationship between aconitic acid content in cane cultivars and molasses from various recovery zones of Maharashtra. **International Sugar Journal**, v. 104, n. 1240, p. 177-179, 2002.
- MEINERZ, G. R.; OLIVO C. J.; FONTANELI, R. S.; AGNOLIN, C. A.; HORST, T.; DE BEM, C. M. Produtividade de cereais de inverno de duplo propósito na depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 4, p. 873-882, 2012.
- MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. (Ed.). **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: Embrapa CNPMA, 1998. 488 p.
- MONQUERO, P. A.; MILAN, B.; SILVA, P. V.; HIRATA, H. C. S. Intervalo de dessecação de espécies de cobertura do solo antecedendo a semeadura da soja. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 561-563, 2010.
- MONTOYA, G.; LONDONO, J.; CORTES, P.; IZQUIERDO, O. Quantitation of *trans*-aconitic acid in different stages of the sugar-manufacturing process. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 33, p. 8314-8318, 2014.
- NEPOMUCENO, M. P.; VARELA, R. M.; ALVES, P. L. C. A.; MARTINS, J. V. F. Períodos de dessecação de *Urochloa ruziziensis* e seu reflexo na produtividade da soja. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 557-565, 2012.
- NUNES, A. S.; TIMOSI, P. C.; PAVANI, M. C. M. D.; ALVES, P. L. C. A. Épocas de manejo químico de *Brachiaria decumbens* antecedendo o plantio direto da soja. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 297-302, 2009.

OLIVEIRA, F. A. de; CASTRO, C. de; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. **Fertilidade do solo e nutrição mineral da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 8 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 62).

OLIVEIRA, G. R. F. **Os efeitos do tratamento químico sobre o desempenho fisiológico de sementes de soja com distintos índices de microfissura no tegumento**. 2017. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira.

OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. (Ed.). **Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopátia**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 194 p.

REIGOSA, M. J.; PAZOS-MALVIDO, E. Phytotoxic effects of 21 plant secondary metabolites on *Arabidopsis thaliana* germination and root growth. **Chemical Ecology**, v. 33, p. 1456 -1466, 2007.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2nd. ed. New York: Academic Press, 1984. 422 p.

RUSTAMANI, M. A.; KANEHISA, K.; TSUMUKI, H.; SHIRAGA, T. Further observations on the relationship between aconitic acid contents and aphid densities on some cereal plants. **Bulletin of the Research Institute for Bioresources**, v. 1, n. 1, p. 9-20, 1992.

SANTOS, J. B.; SANTOS, E. A.; FIALHO, C. M. T.; SILVA, A. A.; FREITAS, M. A. M. Época de dessecação anterior à semeadura sobre o desenvolvimento da soja resistente ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 25, n. 4, p. 869-875, 2007.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 223-228, 2001.

SOUZA FILHO, A. P. S.; PEREIRA, A. A. G.; BAYMA, J. C. Aleloquímico produzido pela gramínea forrageira *Brachiaria humidicola*. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 25-32, 2005.

SOUZA FILHO, A. P. S.; RODRIGUES, L. R. A.; RODRIGUES, T. J. D. Efeitos do potencial alelopático de três leguminosas forrageiras sobre três plantas invasoras de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 165-170, 1997.

SZMIGIELSKA, A. M.; REES, K. C. J. van; CIESLINSKI, G.; HUANG, P. M. Comparison of liquid and gas chromatography for analysis of low molecular weight organic acids in rhizosphere soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 28, n. 1-2, p. 99-111, 1997.

THOMPSON, F.; SCHAEFER, S. C.; MADISON, J. T. Role of aconitate isomerase in trans-aconitate accumulation in plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 9, p. 3684-3688, 1997.

UDÉN, P. Plant organic acids in fresh and ensiled forage plants. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 3, p. 583-587, 2018.

VERMA, M.; RAO, P. B. Allelopathic effect of four weed species extracts on germination, growth and protein in different varieties of *Glycine max* (L.) Merrill. **Journal Environmental Biology**, v. 27, n. 3, p.571-577, 2006.

VOLL, C. E. **Controle de plantas daninhas através da aplicação da vinhaça e extrato de palhico de cana-crua**. 2005. 46 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- VOLL, E. Efeitos de época e modo de preparo do solo na dinâmica de plantas daninhas em soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 5., 1989, Campo Grande. **Resumos...** Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1989. p. 12-13.
- VOLL, E.; FRANCHINI, J. C.; CRUZ, R. T.; GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; ADEGAS, F. S. Chemical interactions of *Brachiaria plantaginea* with *Commelina benghalensis* and *Acanthospermum hispidum* in soybean cropping systems. **Journal of Chemical Ecology**, v. 30, n. 7, p. 1467-1475, 2004.
- VOLL, E.; GARCIA, A.; GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S. Alelopatia do ácido aconítico em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 645-648, 2009.
- VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; ADEGAS, F. S.; GAUDÊNCIO, C. de A.; VOLL, C. E. **A dinâmica das plantas daninhas e práticas de manejo**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 85 p. (Embrapa Soja. Documentos, 260).
- VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; BRIGHENTI, A. M.; ADEGAS, F. S.; GAUDÊNCIO, C. de A.; VOLL, C. E. **Plantas daninhas: o banco de sementes e a sustentação de tecnologias na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 33 p. (Embrapa Soja. Documentos, 302).
- VOLL, E.; GAZZIERO, D. L. P.; KARAM, D. Dinâmica de populações de *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitch. sob manejos de solo e de herbicidas: 1. Sobrevivência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 12, p. 1387-1396, 1995.
- VOLL, E.; KARAM, D.; GAZZIERO, D. L. P. Dinâmica de populações de trapoeraba (*Commelina benghalensis* L.) sob manejos de solo e de herbicidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 571-578, 1997.
- VOLL, E.; TORRES, E.; BRIGHENTI, A. M.; GAZZIERO, D. L. P. Dinâmica do banco de sementes de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo do solo. **Planta Daninha**, v. 19, n. 2, p. 171-178, 2001.
- VOLL, E.; ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P. Efeitos do ácido aconítico em sementes de plantas daninhas de diferentes origens. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 13-22, 2010.
- WATANABE, K.; KATSUHARA, M.; NAKAO, H.; SATO, M. Detection and molecular analysis of plant- and insect-associated bacteria harboring aconitate isomerase involved in biosynthesis of trans-aconitic acid as antifeedant in brown planthoppers. **Current Microbiology**, v. 35, n. 2, p. 97-102, 1997.

Exemplares desta edição  
podem ser adquiridos na:

**Embrapa Soja**

Rod. Carlos João Strass, s/n,  
acesso Orlando Amaral  
C. P. 231, CEP 86001-970  
Distrito de Warta  
Londrina, PR  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**1ª edição**

PDF digitalizado (2019).



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



**Comitê Local de Publicações**

Presidente

*Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretária-Executiva

*Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros

*Alvadi Antonio Balbinot Junior,  
Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine  
Dinali Santos Seixas, José Marcos Gontijo  
Mandarino, Liliane Márcia Mertz-Henning,  
Mariangela Hungria da Cunha, Norman  
Neumaier e Vera de Toledo Benassi.*

Supervisão editorial

*Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol*

Normalização bibliográfica

*Valéria de Fátima Cardoso*

Projeto gráfico da coleção

*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica

*Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol*

Foto da capa

*Antonio Neto/Arquivo Embrapa Soja*

CGPE 15450