

## Avaliação da atividade herbicida de algumas quinonas

Maria Lúcia Ferreira<sup>1</sup>, Luiz Cláudio de Almeida Barbosa<sup>1\*</sup>, Antônio Jacinto Demuner<sup>1,2</sup>,  
Antônio Alberto da Silva<sup>2</sup> e Rita de Cássia Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Análise e Síntese de Agroquímicos, Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 - Viçosa-Minas Gerais, Brazil. <sup>2</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, 36571-000 - Viçosa-Minas Gerais, Brazil. \*Author for correspondence. e-mail: lcab@mail.ufv.br

**RESUMO.** Seis quinonas comerciais (2,5-dihidroxi-1,4-benzoquinona [1], canforquinona [2], fenantrequinona [3], antrarrufina [4], antraquinona sulfonato de sódio [5] e lapachol [6]) foram avaliadas quanto ao seu potencial fitotóxico. Os compostos foram avaliados sobre o controle de plantas de *Sorghum bicolor*, *Cucumis sativus* e *Desmodium tortuosum*, cultivados em areia lavada, em placas de Petri, e *Lactuca sativa*, *Cucumis sativus*, *Desmodium tortuosum*, *Hyptis suaveolens* e de *Euphorbia heterophylla*, cultivadas, por 20 dias, em vasos contendo areia lavada. Nos testes em placa de Petri, a quinona 2 causou pequena inibição (25,62%) sobre plantas de *S. bicolor*. Sobre plantas de *C. sativus*, as quinonas 1, 2, 3 e 5 causaram pequena inibição. Nenhuma das quinonas testadas causou inibição significativa no desenvolvimento de *D. tortuosum*. Nos bioensaios em vasos as quinonas 2, 3, 4 e 6, causaram inibição significativa (9,52 a 71,43%) no sistema radicular de *H. suaveolens*.

**Palavras-chave:** bioensaios, plantas daninhas, fitotoxicidade.

**ABSTRACT. Evaluation of quinone herbicide activity.** Six commercial quinones (2,5-dihydroxy-1,4-benzoquinone [1], camphorquinone [2], phenantrequinone [3], anthrarufin [4], sodium sulfonate anthraquinone [5] and lapachol [6]) were tested as for their phytotoxic potential. The compounds were tested on *Sorghum bicolor*, *Cucumis sativus* and *Desmodium tortuosum* cultivated in washed sand in Petri dishes and on *Lactuca sativa*, *Cucumis sativus*, *Desmodium tortuosum*, *Hyptis suaveolens* and *Euphorbia heterophylla*, cultivated in pots, containing washed sand, for 20 days. In the tests in Petri dishes, quinone 2 caused a little inhibition (25.62%) to the development of *S. bicolor*. Quinones 1, 2, 3 and 5 caused a very little effect on *C. sativus*. None of the tested quinones caused a significant inhibition effect to *D. tortuosum*. In the bioassays in pots, quinones 2, 3, 4 and 6 caused a significant inhibition (9.52 to 71.43%) to the root system of *H. suaveolens*.

**Key words:** bioassays, weeds, phytotoxicity.

As plantas daninhas causam maior prejuízo à agricultura que as pragas e doenças e constituem a maior barreira para a produção de alimentos e desenvolvimento econômico de muitas regiões do mundo (Muzik, 1970). Em média, cerca de 20-30% do custo de produção de uma lavoura se deve aos gastos no controle das plantas daninhas (Lorenzi, 1994).

Assim, as perdas com plantas daninhas podem ter um profundo efeito sobre a economia mundial em termos de redução da produtividade, elevação do custo de produção e a qualidade do produto colhido (Cobb, 1992).

Por esse motivo, a descoberta de novas substâncias químicas com atividade herbicida é de

fundamental importância para a agricultura mundial. Todavia, é importante que essas novas moléculas apresentem baixa toxicidade aos animais e curta persistência no ambiente (Cobb, 1992).

Algumas quinonas estão presentes nas plantas e células animais, onde exercem funções na respiração, fotossíntese, toxinas defensivas, sendo ainda elementos essenciais no processo de acoplamento energético. A mobilidade das quinonas nos sítios reativos, chamados sítios Q, é descrita como parte de um clássico mecanismo redox. Esse mecanismo permite que as quinonas façam a transferência de elétrons e translocação de prótons, através de proteínas dispostas na trans-membrana (Rich, 1996). Os sítios Q são uma seqüência de aminoácidos,

numa proteína oxidoreductase, que determinam as propriedades das ligações dessa proteína com as quinonas (Vermaas e Arntzen, 1983).

Devido ao papel central das quinonas na cadeia de transporte de elétrons, muitos sítios Q são conhecidos. As quinonas movimentam-se rapidamente nos sítios Q, e a constante de ligação com esses sítios é relativamente fraca (Rich, 1996). Isso favorece a possibilidade de inibição do sítio desocupado transitoriamente por uma quinona análoga às naturais, ou por outra molécula.

Antagonistas sintéticos, como a 2,5-dibromo-6-isopropil-3-metil-*p*-benzoquinona, 3-alkil-2-hidroxi-naftoquinonas, galatos de alquila, ou naturais, como a sorgoleona (2-hidroxi-5-metoxi-3-[(8'Z,11'Z)-pentadeca-8',11',14'-trien-1-il]-*p*-benzoquinona) e a juglona (5-hidroxi-naftoquinona), são conhecidos por inibirem esses sítios na fotossíntese ou respiração. Todos os antagonistas são relativamente hidrofóbicos e consideravelmente específicos para sítios Q individuais. Muitos são relativamente simples, com uma semelhança clara à estrutura natural das quinonas relacionadas à fotossíntese e respiração. Diferenças na sensibilidade dos mesmos sítios são conhecidas em diferentes espécies (Sebban et al., 1995). Compostos com propriedades semelhantes às quinonas que atuam na fotossíntese e respiração podem atuar como potentes e efetivos herbicidas (Rich, 1996).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de bioensaios, as quinonas 2,5-dihidroxi-1,4-benzoquinona [1], canforquinona [2], fenantrequinona [3], antrarrufina [4], antraquinona sulfonato de sódio [5] e lapachol [6], disponíveis comercialmente, verificando se alguns desses compostos poderiam servir como modelo para a síntese de novas moléculas com atividade reguladora e ou inibidora do crescimento de plantas.

## Material e métodos

Os ensaios biológicos foram realizados em câmara de crescimento, no Laboratório de Herbicida na Planta, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa-MG, utilizando areia lavada como substrato. A areia comercial foi peneirada em malha de 2 mm, lavada com ácido clorídrico comercial (60 mL L<sup>-1</sup> de água), permanecendo nessa solução por 48h. Em seguida, a areia foi lavada em água corrente para a retirada do excesso de ácido, e, posteriormente, tratada com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L<sup>-1</sup>. Após um período de aproximadamente cinco minutos, tempo suficiente para ocorrer a dispersão

das argilas, novamente a areia foi lavada em água corrente até a obtenção de pH próximo a 6,5.

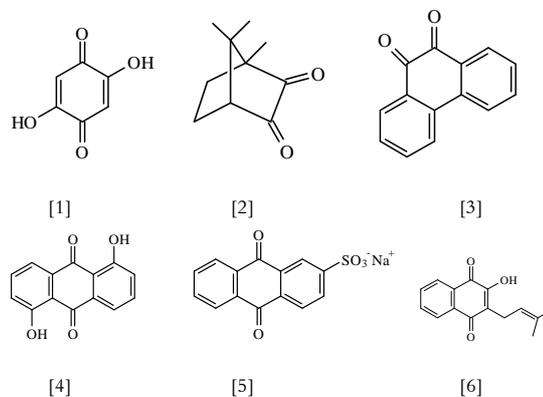
Como plantas-teste, utilizaram-se o sorgo (*Sorghum bicolor*), linhagem BR 303, fornecida pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Embrapa/Sete Lagoas-MG), o pepino (*Cucumis sativus*), linhagem híbrido caipira AG 221, obtidos no comércio, a alface (*Lactuca sativa* L.), Regina de Verão 035, obtida no comércio. Utilizaram-se também as espécies de plantas daninhas carrapicho beijo-de-boi (*Desmodium tortuosum*), cheirosa (*Hyptis suaveolens*) e leiteiro (*Euphorbia heterophylla*), cujas sementes foram fornecidas pelo Laboratório de Herbicida na Planta-UFV.

As soluções utilizadas para se avaliar o potencial herbicida das quinonas 1-6 (Figura 1), obtidas da Aldrich Chemical Company, foram preparadas conforme metodologia descrita por Baruah et al. (1994), utilizando solução aquosa de dimetilsulfóxido 0,1% v/v como solvente. O composto a ser testado (5 mg) foi dissolvido em 0,1 mL de dimetilsulfóxido. Essa mistura teve o volume completado para 100 mL de água destilada.

O efeito do solvente orgânico foi avaliado preparando-se uma solução (controle), contendo a mesma concentração de dimetilsulfóxido usada no preparo dos compostos a serem testados.

As soluções nutritivas foram preparadas utilizando a metodologia descrita por Steiner (1984). A composição dessa solução foi MgSO<sub>4</sub> 2 mol L<sup>-1</sup> (1 mL L<sup>-1</sup>), KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> (1 mL L<sup>-1</sup>), Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 2 mol L<sup>-1</sup> (0,75 mL L<sup>-1</sup>), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2 mol L<sup>-1</sup> (0,75 mL L<sup>-1</sup>), KCl 2 mol L<sup>-1</sup> (3 mL L<sup>-1</sup>), Fe-EDTA 0,04 mol.L<sup>-1</sup> (1 mL L<sup>-1</sup>), Micro - Fe (1 mL L<sup>-1</sup>).

O delineamento experimental adotado nos ensaios em placa de Petri e em vasos foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente, comparando-se as médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 1.** Estrutura das quinonas submetidas à avaliação da atividade herbicida

**Bioensaio em placa de Petri.** Nesse bioensaio, foram avaliados os efeitos das quinonas 1-6 (Figura 1) sobre o desenvolvimento do sistema radicular das planta-testes.

Para isto, 550 g de areia lavada foram uniformemente umedecidos com 60 mL da solução a 50 µg mL<sup>-1</sup> do composto a ser avaliado e distribuídos em três placas de Petri. Cada placa recebeu oito sementes da planta-teste a ser avaliada. As sementes de *S. bicolor* e *C. sativus* foram pré-germinadas por 18h a 28°C, e as de *D. tortuosum* foram excisadas em uma das extremidades e colocadas no terço superior da placa de Petri. As sementes foram dispostas em linha, com as radículas voltadas para baixo. As placas foram tampadas e vedadas com fita adesiva, para evitar a evaporação da água. Em seguida, foram colocadas em germinador, no escuro, a 28 °C e inclinadas a 45°.

Após 48 horas, o comprimento das radículas foi medido, calculando-se a porcentagem de inibição em relação ao controle, e os dados analisados estatisticamente.

**Bioensaio em vaso.** Nesse bioensaio, avaliou-se o efeito das quinonas 1-6 (Figura 1) sobre o desenvolvimento das plantas-teste.

Foram utilizados 164 g de areia lavada, uniformemente umedecidos com 18 mL da solução a 50 µg mL<sup>-1</sup> de cada composto. Após umedecimento com a solução, o substrato foi colocado em vasos plásticos, com capacidade de 0,10 dm<sup>3</sup>. Em seguida, foram semeadas dez sementes da planta-teste. As sementes de *D. tortuosum* foram excisadas em uma das extremidades para a quebra da dormência. Todas as sementes foram semeadas a 1 cm de profundidade. Os vasos foram colocados em câmara de crescimento a 25°C, mantendo constante a umidade do substrato, por meio de irrigações, realizadas três vezes por semana com solução nutritiva.

A coleta das plantas foi realizada 20 dias após a semeadura, separando a parte aérea do sistema radicular. Essas partes foram acondicionadas em

sacos de papel e secas em estufa por 72 horas a 75°C e, em seguida, realizou-se a determinação da biomassa seca de cada parte.

A porcentagem de inibição do sistema radicular e da parte aérea das plantas foi calculada em relação ao controle. Os dados foram analisados estatisticamente.

## Resultados e discussão

**Bioensaio em placa de Petri.** Os resultados dos efeitos das quinonas 1-6 sobre o sistema radicular de *S. bicolor*, *C. sativus* e *D. tortuosum*, a uma concentração de 5,5 µg de i.a./g de substrato e após um período de 48 horas, estão apresentados na Tabela 1.

Pode-se observar que a quinona [2] foi a que causou maior efeito inibitório do sistema radicular de plantas de *S. bicolor* (25,62 %).

O sistema radicular de plantas de *C. sativus*, quando tratado com as quinonas, apresentou, de maneira geral, maior inibição do crescimento radicular que as plantas de *S. bicolor* (Tabela 1). As quinonas [1], [2], [3] e [5] causaram inibição de 23,06, 38,84, 14,79 e 30,92%, respectivamente, do sistema radicular de plantas de *C. sativus*. Todavia, a quinona [4] causou efeito estimulante ao crescimento radicular (19,53%) de *C. sativus*, quando comparado com o controle (Tabela 1).

Examinando (Tabela 1) os resultados do efeito da aplicação das quinonas sobre o sistema radicular de *D. tortuosum*, na concentração de 5,5 ppm e após um período de 48 horas, verifica-se que a porcentagem de inibição, em relação ao controle, variou de 8,69 a 29,25%, o que evidencia pequena atividade desses compostos sobre essa planta daninha.

**Bioensaio em vaso.** Nas Tabelas 2 e 3, estão expressos os efeitos das quinonas no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de cada espécie avaliada, 20 dias após a semeadura.

**Tabela 1.** Efeito das quinonas sobre o desenvolvimento radicular de plantas de *S. bicolor*, *C. sativus*, *D. tortuosum*, 48 horas após o semeio, na concentração de 5,5 µg g<sup>-1</sup>, cultivadas em areia lavada, em placas de Petri

Tratamentos*	<i>S. bicolor</i>		<i>C. sativus</i>		<i>D. tortuosum</i>	
	Comprimento Radicular (cm)**	% de Inibição do Sistema Radicular	Biomassa Seca de Raízes (mg)**	% de Inibição do Sistema Radicular	Comprimento Radicular (cm)**	% de Inibição do Sistema Radicular
Controle	8,12 ab	0,00	56,8 bc	0,00	2,53 ab	0,00
1	8,15 ab	-0,37	43,7 e	23,06	2,31 ab	8,69
2	6,04 c	25,62	34,7 g	38,84	2,08 b	17,78
3	7,45 b	8,25	48,4 d	14,79	1,79 b	29,25
4	8,32 a	-2,46	67,9 a	-19,53	1,81 b	28,46
5	8,53 a	-5,05	39,2 f	30,92	2,13 b	15,81
6	8,28 ab	-1,97	58,7 bc	-3,32	1,86 b	26,48
CV (%)	4,48	-	3,03	-	15,97	-

\* As estruturas químicas para os produtos estão apresentadas na Figura 1; \*\* As médias seguidas de uma mesma letra não diferem significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

**Tabela 2.** Efeito das quinonas sobre o acúmulo de biomassa seca na parte aérea e no sistema radicular em plantas de *C. sativus* e *L. sativa*, cultivadas em substrato de areia lavada, na concentração de 5,5 µg g<sup>-1</sup>, 20 dias após a semeadura

Tratamentos*	<i>C. sativus</i>				<i>L. sativa</i>			
	Parte Aérea (mg)**	Parte Aérea (% de inibição)	Raízes (mg)	Raízes (% de inibição)	Parte Aérea (mg)**	Parte Aérea (% de inibição)	Raízes (mg)	Raízes (% de inibição)
Controle	42,0 a	0,00	17,9 a	0,00	13,1 ab	0,00	7,0 a	0,00
1	38,3 a	8,81	9,9 a	44,69	15,1 a	-15,26	6,1 a	12,86
2	42,0 a	0,00	9,3 a	48,04	11,7 ab	10,68	6,8 a	2,86
3	41,3 a	1,67	8,5 a	52,51	7,4 b	43,51	6,3 a	10,00
4	50,3 a	-19,76	10,3 a	42,45	11,2 ab	14,50	7,3 a	-4,29
5	48,0 a	-14,28	13,2 a	26,26	12,4 ab	5,34	4,2 a	40,00
6	58,2 a	-38,57	12,6 a	29,61	9,7 ab	25,95	6,0 a	14,29
CV (%)	25,70	-	39,19	-	26,22	-	50,03	-

\* As estruturas químicas para os produtos estão apresentadas na Figura 1; \*\* As médias seguidas de uma mesma letra não diferem significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

**Tabela 3.** Efeito das quinonas sobre o acúmulo de biomassa seca na parte aérea e no sistema radicular das plantas daninhas *D. tortuosum*, *H. suaveolens* e *E. heterophylla*, cultivadas em substrato de areia lavada, na concentração de 5,5 µg g<sup>-1</sup>, 20 dias após a semeadura

Tratamentos*	<i>D. tortuosum</i>				<i>H. suaveolens</i>				<i>E. heterophylla</i>			
	Parte Aérea (mg)**	Parte Aérea (% de inibição)	Raízes (mg)	Raízes (% de inibição)	Parte Aérea (mg)**	Parte Aérea (% de inibição)	Raízes (mg)	Raízes (% de inibição)	Parte Aérea (mg)**	Parte Aérea (% de inibição)	Raízes (mg)	Raízes (% de inibição)
Controle	4,7 a	0,00	2,0 a	0,00	2,8 ab	0,00	2,1 ab	0,00	5,7 a	0,00	1,7 a	0,00
1	5,6 a	-19,15	1,7 a	15,00	2,3 ab	17,86	1,7 bc	19,05	6,5 a	-14,04	1,7 a	0,00
2	4,7 a	0,00	2,4 a	-20,00	1,8 b	35,71	1,1 de	47,62	4,4 a	22,81	2,4 a	-41,18
3	4,1 a	12,76	2,1 a	-5,00	1,5 b	46,43	1,2 cd	42,86	5,0 a	12,28	2,1 a	-23,53
4	5,1 a	-8,51	2,0 a	0,00	2,3 ab	17,86	1,0 de	52,38	4,9 a	14,04	2,0 a	-17,65
5	3,3 a	29,79	2,5 a	-25,00	3,0 ab	-7,14	1,9 ab	9,52	4,6 a	19,30	2,2 a	-29,41
6	4,1 a	12,76	2,0 a	0,00	2,1 ab	25,00	0,6 e	71,43	6,3 a	-10,53	2,0 a	-17,65
CV (%)	23,44	-	22,05	-	28,33	-	16,63	-	19,00	-	54,20	-

\* As estruturas químicas para os produtos estão apresentadas na Figura 1; \*\* As médias seguidas de uma mesma letra não diferem significativamente a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Pelos resultados obtidos nesse ensaio, pode ser constatado que os compostos analisados não causaram diferença significativa sobre o acúmulo de biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular de plantas de *C. sativus* (Tabela 2). Os efeitos no desenvolvimento radicular, verificados pela avaliação da Tabela 1, para os compostos [1], [2], [3] e [5], não se manifestaram sobre o acúmulo de biomassa seca do sistema radicular de plantas de *C. sativus*.

As quinonas não tiveram influência significativa sobre o acúmulo de biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular de plantas de *L. sativa* (Tabela 2). O composto [3] causou a maior taxa de inibição (43,51%) no acúmulo de biomassa seca da parte aérea. Sobre o sistema radicular, o composto [5] causou 40,00 % de inibição, entretanto não se observou diferença significativa da porcentagem de inibição causada pelos produtos e a do controle.

Nesse bioensaio, as quinonas não causaram efeito significativo sobre o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular em plantas de *L. sativa* e *C. sativus*. Mesmo assim, foi avaliado o efeito das mesmas sobre as plantas daninhas *D. tortuosum*, *H. suaveolens* e *E. heterophylla*.

No exame dos resultados obtidos pela ação fitotóxica das quinonas sobre plantas de *D. tortuosum* (Tabela 3), pode-se observar que a quinona [5] foi a

que causou a maior inibição (29,79%) da parte aérea. Para o acúmulo de matéria seca das raízes, os compostos testados não causaram efeito inibitório significativo em relação ao controle. O efeito fitotóxico das quinonas, verificado pelo teste em placas de Petri, foi o mesmo encontrado quando se avaliou o acúmulo de biomassa seca do sistema radicular.

A análise dos efeitos das quinonas sobre o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de *H. suaveolens* (Tabela 3) possibilitou verificar que o composto [3] causou a maior taxa de inibição (46,43%) do acúmulo de biomassa seca da parte aérea, entretanto não se observou diferença significativa da biomassa seca da parte aérea de plantas de *H. suaveolens* tratadas com os produtos e a do controle.

Os compostos [2], [3], [4] e [6] causaram as maiores taxas de inibições (47,62, 42,86, 52,38 e 71,43 %, respectivamente), para o sistema radicular de plantas de *H. suaveolens*. Foram verificados, nesses tratamentos, diminuição do número e encurtamento de raízes secundárias, quando comparadas com aquelas do controle, e foi observada diferença significativa da biomassa do sistema radicular entre esses produtos e o controle.

Sobre o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de *E. heterophylla* (Tabela 3), não foi observada diferença significativa da biomassa seca dessas plantas, quando tratadas com os produtos, e a do controle. Entretanto, o composto [2] causou, em algumas folhas, um amarelamento, caracterizado por clorose.

Em resumo, foi verificou-se que as quinonas avaliadas não causaram inibição significativa no desenvolvimento das espécies *C. sativus*, *L. sativa*, *D. tortuosum* e *E. heterophylla*, 20 dias após a semeadura. Somente as quinonas [2], [3], [4] e [6] causaram efeito fitotóxico significativo (47,62, 42,86, 52,38 e 71,43 %) sobre o sistema radicular de plantas de *H. suaveolens*. Esse estudo mostrou que essas quinonas apresentaram efeitos fitotóxicos seletivos sobre as plantas testadas. Tais resultados indicam o potencial dessa classe de composto para o desenvolvimento de novos herbicidas.

#### Referências bibliográficas

Baruah, N.C.; Sarma, J.C.; Sarma, S.; Sarma, R.P. Seed germination and growth inhibitory cadinenes from

*Eupatorium adenophorum* Spreng. *J. Chem. Ecol.*, 20:1885-1892, 1994.

Cobb, A. *Herbicides and plant physiology*, London: Chapman & Hall, 1992. 176p.

Lorenzi, H. *Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional*. Nova Odessa - SP: Plantarum, 1994. 240p.

Muzik, T.J. *Weed biology and control*. New York: Mcgraw-Hill. 1970. 273 p.

Rich, P.R. Quinone binding sites of membrane proteins as targets for inhibitors. *Pestic. Sci.*, 47:287-296, 1996.

Sebban, P.; Maroti, P.; Hanson, D.K. Electron and proton transfer to the quinones in bacterial photosynthetic reaction centers: insight from combined approaches of molecular genetics and biophysics. *Biochemie*, 77:677-694, 1995.

Steiner, A.A.D. Universal nutrient solution. In: *Prosigns of pesquise International congress on soillers culture*. Lunteren: ISOSC. 1984. p. 633-634.

Vermaas, W.F.J.; Arntzen, C.J. Synthetic quinones influencing herbicide binding and photosystem II electron transport. *Biochem. Biophys. Acta*, 725:483-491, 1983.

Received on March 20, 2000.

Accepted on May 30, 2000.