

TRANSLOCAÇÃO DO INSETICIDA TIAMETOXAM NO FLOEMA DE MAMONEIRAS, UTILIZADAS COMO PLANTAS-MODELO

FABRÍCIA ZIMERMANN VILELA TORRES*
RENÉ LUÍS DE OLIVEIRA RIGITANO**

Investigou-se a eficiência de transporte do inseticida tiametoxam no floema de mamoneiras, utilizadas como plantas-modelo, devido à facilidade de coleta de seiva elaborada. Utilizaram-se plantas com três semanas de idade, mantidas em solução nutritiva, das quais se deixou apenas duas folhas desenvolvidas e uma apical. Usando microsseringa, injetou-se pequeno volume de solução aquosa de tiametoxam no interior do pecíolo de uma ou de ambas as folhas desenvolvidas. Foram coletados os exsudados do floema, nas regiões inferior e/ou superior do caule. As concentrações do tiametoxam na seiva elaborada e nas diferentes partes das plantas foram determinadas por cromatografia a líquido de alta eficiência. Confirmou-se a translocação do tiametoxam no floema de mamoneiras, sendo sua concentração na seiva elaborada coletada na região inferior do caule cerca de 30% da encontrada nas folhas desenvolvidas. Na folha apical, 72 horas após aplicação, encontrou-se em torno de 2% da quantidade aplicada. Nas raízes, a concentração de tiametoxam foi muito baixa devido ao retorno do composto para as folhas, via xilema, e à sua transferência para a solução nutritiva. Quando aplicado em apenas uma das folhas desenvolvidas, verificaram-se quantidades apreciáveis do tiametoxam na folha não tratada, confirmando sua redistribuição dentro da planta. A concentração no exsudado coletado na parte inferior do caule foi cerca de 20% menor do que na sua parte superior, indicando que conforme o tiametoxam é transportado descendentemente nas plantas, escapa dos vasos do floema para os tecidos adjacentes do caule. Concluiu-se que o tiametoxam é transportado tanto no xilema como no floema em mamoneira, reforçando a hipótese de que compostos polares translocam via floema em plantas.

PALAVRAS-CHAVE: TIAMETOXAM; TRANSPORTE NO FLOEMA; INSETICIDA SISTÊMICO; COMPOSTOS POLARES; Ricinus communis; CROMATOGRAFIA.

* Engenheira Agrônoma, Doutora em Entomologia Agrícola, Pesquisadora, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Brasil (e-mail: fabricia@cnpqg.embrapa.br).

** Engenheiro Agrônomo, PhD. em Entomologia/Inseticidas, Professor Titular, Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil (e-mail: rigitano@den.ufla.br).

1 INTRODUÇÃO

Inseticidas translocáveis via floema, embora raros, são bastante interessantes, pois poderiam ser utilizados em menor número de pulverizações para o controle de pragas que atacam folhas novas, que, ao serem emitidas, receberiam os compostos das folhas mais velhas. Além disso, compostos que translocam no floema podem controlar pragas das raízes, mesmo aplicados em pulverização foliar, com expectativa de menor gasto de ingrediente ativo (i.a.) por hectare, em comparação com a aplicação no solo (OLIVEIRA e RIGITANO, 1991).

Estudos anteriores mostraram que apenas os inseticidas polares, com coeficiente de partição entre octanol e água ($\log K_{ow}$) abaixo de zero são translocáveis via floema. Os inseticidas sulfona de aldicarbe e vamidotiom são compostos polares, cujo transporte via floema em plantas já foi verificado (BROMILOW *et al.*, 1987; OLIVEIRA e RIGITANO, 1991). Apesar de apresentarem essa característica desejável, esses inseticidas são bastante tóxicos. Isso inviabiliza sua utilização em muitas culturas, principalmente aquelas cujos frutos serão consumidos “in natura”, uma vez que, de acordo com Rigitano (1993), suas moléculas são transportadas para os frutos conduzidas pela seiva elaborada nos vasos floemáticos.

O tiametoxam, composto de natureza polar, apresenta $\log K_{ow}$ igual a -0,13 (ANTUNES-KENYON e KENNEDY, 2001), sendo esperado seu transporte via floema. Trata-se de inseticida com baixa toxicidade para mamíferos e, portanto, seu transporte para os frutos não deve inviabilizar a aplicação nas culturas em geral.

Objetivou-se investigar o transporte do tiametoxam via floema em mamoneira (*Ricinus communis* L.), utilizada como planta-modelo, pela facilidade de coleta de exsudados do seu floema.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a investigação da translocação do tiametoxam no floema de mamoneira baseou-se no trabalho de Bromilow *et al.* (1987).

2.1 OBTENÇÃO DAS PLANTAS

Sementes de mamoneira da cultivar Guarani foram colocadas para germinar em bandeja contendo vermiculita. Após a emergência, as plântulas foram individualizadas em recipientes plásticos contendo 800 mL de solução nutritiva (HOAGLAND e ARNON, 1950) meia-força. Placas de isopor foram utilizadas para manter as plantas suspensas sobre os recipientes. Para oxigenação, dentro de cada recipiente, adaptou-se uma mangueira plástica (5 mm de diâmetro), contendo agulha de seringa em uma das extremidades, inserida em outra mangueira de látex (10 mm de diâmetro), que foi acoplada em bomba pneumática Hy Flo, modelo Júnior, ligada à rede elétrica. O funcionamento da bomba garantiu a aeração da solução nutritiva fornecida às plantas. Manteve-se o nível da solução nutritiva dentro dos recipientes a cerca de 1 cm abaixo da sua borda.

As plantas foram mantidas em casa-de-vegetação, cujas médias de temperatura e umidade relativa registradas em termohigrógrafo (Sigma II) durante a condução dos ensaios foram de 23°C (máx. 32°C e mín. 14°C) e 75% (máx. 98% e mín. 52%), respectivamente.

Quando atingiram cerca de 30 cm de altura, após três semanas, as plantas tiveram suas folhas cotiledonares e primárias removidas, restando um par de folhas desenvolvidas e uma folha apical em início de desenvolvimento. Esse foi considerado como o estágio padrão para as plantas utilizadas nos experimentos.

2.2 PREPARO DA SOLUÇÃO DE TIAMETOXAM PARA OS EXPERIMENTOS

A partir de uma embalagem do produto comercial Actara 250 WG® (250 g de tiametoxam kg⁻¹) preparou-se a solução aquosa do ingrediente ativo, a ser utilizada nos experimentos. Para isso, 200 mg da formulação foi submetida à agitação em 10 mL de acetona (P.A.- ACS, Merck) em mesa agitadora por 10 minutos. Após filtragem do extrato, em papel de filtro, procedeu-se a eliminação da acetona em rotavapor (marca Buchi – modelo 120 E). Em seguida, efetuou-se a diluição do tiametoxam em 10 mL de água destilada, sendo a solução obtida analisada quanto à concentração do ingrediente ativo, conforme descrito adiante. Tal concentração (3,58 mg mL⁻¹) revelou-se abaixo da concentração esperada (5 mg mL⁻¹), o que foi atribuído à retenção do inseticida no papel de filtro.

2.3 APLICAÇÃO DE TIAMETOXAM NOS PECÍOLOS DAS DUAS FOLHAS DESENVOLVIDAS

Com auxílio de microseringa (10 µL, marca Hamilton) foram injetados 8,8 µL da solução aquosa de tiametoxam (3,58 mg mL⁻¹) no interior do pecíolo de cada folha desenvolvida. Esse volume de injeção foi pré-estabelecido com base nos resultados de teste preliminar, por meio do qual se estimou a quantidade de tiametoxam depositada por folha, quando aplicado em pulverização na dose recomendada de Actara 250 WG® na calda (0,2 g L⁻¹). Em tal teste, procedeu-se a pesagem de 10 folhas representativas, antes e imediatamente após a pulverização. A diferença entre esses pesos foi utilizada para a estimativa da quantidade média de calda e, por conseguinte, de ingrediente ativo por folha, essa última sendo 31,5 µg. Cada folha recebeu, então, o equivalente a 31,5 µg de tiametoxam, totalizando 63 µg por planta.

As plantas permaneceram nos vasos contendo solução nutritiva, os quais foram identificados e mantidos em casa-de-vegetação. Após 24, 48 ou 72 horas da aplicação da solução de tiametoxam, os recipientes contendo as plantas foram transferidos para outra bancada dentro da casa-de-vegetação para a coleta dos exsudados da seiva elaborada pelas plantas. Adotou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 (tempo após injeção) x 6 (partes da planta e solução nutritiva), com quatro repetições (COCHRAN e COX, 1957).

2.4 COLETA DE SEIVA ELABORADA E PREPARO DAS AMOSTRAS

Os exsudados do floema foram obtidos a partir de incisão superficial, em forma de “V”, feita com auxílio de lâmina de bisturi na parte inferior do caule (3 a 4 cm acima do início da raiz), em linha com a inserção da folha desenvolvida mais próxima. Os exsudados foram coletados em tubos capilares de vidro com capacidade para 50 µL, suspensos em espuma presa a uma haste de metal. Coletaram-se 100 µL de seiva elaborada de cada planta, que foram acondicionados em tubo de vidro com tampa. Adicionou-se ao tubo 0,9 mL de mistura de água purificada (Milli-Q) + acetonitrila (grau HPLC – Merck), na proporção 75:25, a fim de se obter volume final de 1 mL. Essa mistura corresponde à utilizada como fase móvel no sistema de cromatografia a líquido de alta eficiência (CLAE). Após agitação do tubo, a amostra foi filtrada em filtro Millipore (membrana em politetrafluoretileno – PTFE; 0,45 µm), acoplado em seringa de vidro e armazenada em frascos de vidro (5 mL) com tampa, em freezer (-20°C), até o momento de sua análise.

2.5 COLETA DAS DIFERENTES PARTES DAS PLANTAS E DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Após a coleta dos exsudados, as plantas foram seccionadas individualmente em diferentes partes: lâminas das folhas desenvolvidas, pecíolos tratados, folha apical, caule e

raízes. As partes foram pesadas individualmente em balança de precisão (marca Bel, modelo 210A), acondicionadas separadamente em papel alumínio e mantidas em freezer (-20°C) até sua análise.

Investigou-se a eventual translocação do tiametoxam para a solução nutritiva, coletando 200 mL dessa e efetuando-se a extração do tiametoxam e a purificação do extrato para posterior determinação do inseticida.

2.6 APLICAÇÃO DE TIAMETOXAM NO PECÍOLO DE APENAS UMA DAS FOLHAS DESENVOLVIDAS

Conduziu-se o experimento com o propósito de investigar a translocação do tiametoxam de uma folha desenvolvida tratada com o inseticida para a outra folha desenvolvida (folha oposta), que não foi tratada com o inseticida.

Utilizaram-se plantas de mamoneira com três semanas de idade, obtidas conforme já descrito. O composto foi aplicado injetando-se 8,8 µL da solução aquosa de tiametoxam (3,58 mg mL⁻¹) no pecíolo da folha desenvolvida mais nova de quatro plantas, e no pecíolo da folha desenvolvida mais velha de outras quatro plantas. Avaliaram-se as quantidades de tiametoxam (µg) na folha tratada, folha oposta, folha apical e no pecíolo tratado, seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente.

Adotou-se delineamento experimental inteiramente casualizado, com dois tratamentos (pecíolo da folha mais nova e pecíolo da folha mais velha) e quatro repetições (plantas) (COCHRAN e COX, 1957).

2.7 CONCENTRAÇÃO DE TIAMETOXAM NA SEIVA ELABORADA DE MAMONEIRA AO LONGO DO TEMPO

Realizou-se o experimento com o intuito de verificar a variação da concentração de tiametoxam no floema de mamoneiras que receberam o composto via injeção nos pecíolos, ao longo das primeiras horas após a aplicação.

O composto, em solução aquosa já preparada (3,58 mg mL⁻¹), foi injetado com auxílio de microseringa no interior dos pecíolos das folhas desenvolvidas de mamoneiras (8,8 µL em cada pecíolo). Logo após a injeção do inseticida iniciaram-se as coletas de seiva, conforme descrito anteriormente. Neste experimento, os exsudados foram continuamente coletados, sendo transferidos, a cada hora, para tubo de vidro com tampa.

Foram realizadas 11 coletas por planta ao longo do dia, com início às 8 horas e final às 19 horas, em três plantas, sendo cada uma delas considerada repetição.

2.8 CONCENTRAÇÃO DE TIAMETOXAM NAS PARTES SUPERIOR E INFERIOR DO CAULE DE MAMONEIRA

Verificou-se a variação na concentração de tiametoxam presente na seiva entre um ponto do caule próximo ao local de aplicação (logo abaixo dos pecíolos das folhas desenvolvidas) e um ponto próximo às raízes, correspondendo à distância de ±20 cm.

A aplicação do composto foi feita no pecíolo das duas folhas desenvolvidas, conforme descrito anteriormente.

Após 72 horas da injeção, coletaram-se 100 µL de exsudado do floema de três plantas nas partes superior e inferior do caule, sendo a incisão na parte superior do caule efetuada cerca de 3 a 4 cm abaixo da inserção da folha desenvolvida (localizada mais abaixo).

2.9 DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DO TIAMETOXAM

Os procedimentos utilizados para determinação do tiametoxam nas amostras de tecido vegetal, de seiva elaborada e solução nutritiva foram adaptados da metodologia descrita por Bromilow *et al.* (1987) para extração e purificação dos extratos e pela Novartis Crop Protection (1998) para determinação quantitativa do tiametoxam.

2.10 EXTRAÇÃO DO TIAMETOXAM

A extração de tiametoxam em amostras de tecido vegetal foi feita com auxílio de almofariz, utilizando-se acetona (P.A. – ACS, Merck) como solvente extrator até completa remoção da coloração verde das amostras (considerada indicativo de boa extração). O extrato obtido foi transferido, utilizando-se pipeta de Pasteur, para balão volumétrico (capacidade para 100 mL), passando por algodão colocado em funil de vidro suspenso sobre o balão. Completou-se o volume até a marca dos 100 mL, sendo o balão mantido em freezer (-20°C) até o momento da purificação do extrato.

A amostra de solução nutritiva (200 mL) foi transferida para funil de separação e submetida a três partições sucessivas com 100 mL de diclorometano (P.A. – ACS, Merck). As fases orgânicas foram passadas em sulfato de sódio anidro suspenso em funil de vidro e coletadas em balão de fundo redondo (capacidade para 500 mL). Removeu-se o diclorometano em evaporador rotativo, sendo os resíduos transferidos em 2 mL de acetona para tubo de centrifuga, o qual foi mantido em freezer (-20°C) até o momento da purificação do extrato.

2.11 PURIFICAÇÃO DOS EXTRATOS

Realizou-se a purificação dos extratos por meio de sistema de cromatografia em camada delgada (CCD). Em se tratando de extratos de tecido vegetal, inicialmente retiraram-se alíquotas de 2,5; 10; 25; 10 e 10 mL, respectivamente nos casos de folhas desenvolvidas, folha apical, pecíolos, caule e raízes. No caso de extrato de solução nutritiva retirou-se alíquota de 1 mL, correspondente a 50% do extrato. Cada alíquota foi transferida para balão de fundo redondo (capacidade para 50 mL) e submetida à remoção da acetona (e água, no caso de extratos de tecido vegetal), com auxílio de evaporador rotativo com banho a 50°C.

Os resíduos no balão foram transferidos, com auxílio de pipeta de Pasteur e quatro lavagens sucessivas com 0,25 mL de acetona para cromatoplaça de vidro de 20 x 10 cm, contendo camada de 0,5 mm de sílica-gel 60 GF₂₅₄, utilizada como fase estacionária. A amostra foi distribuída ao longo de uma linha a 3 cm da base da cromatoplaça, a qual recebeu a aplicação de solução padrão de tiametoxam nas margens na mesma linha de aplicação da amostra, sendo as margens isoladas por meio de remoção da sílica ao longo de linhas verticais efetuadas com lápis.

Colocou-se a cromatoplaça dentro de cuba de vidro contendo mistura de diclorometano + acetona (ambos P.A. – ACS, Merck) na proporção 100:150 (sistema de solventes pré-determinado, utilizado como fase móvel), ficando apenas a base da placa submersa.

Após a mistura de solventes atingir altura de cerca de 2 cm abaixo da borda superior da cromatoplaça, essa foi retirada da cuba e colocada para secar dentro de capela com exaustor ligado.

Sob luz ultravioleta, identificou-se a faixa correspondente à banda do tiametoxam (FR = 0,55) e transferiu-se a sílica dessa faixa (cerca de 2 cm de largura) para funil de vidro contendo algodão. O funil de vidro estava suspenso sobre balão de fundo redondo (capacidade para 50 mL). Foram realizadas três lavagens com 10 mL de acetona para remoção do tiametoxam adsorvido na sílica-gel.

Eliminou-se a acetona em evaporador rotativo com banho a 50°C. O resíduo dentro do balão foi dissolvido em solução de água purificada + acetonitrila (grau HPLC – Merck) na proporção

75:25, que corresponde à solução utilizada como fase móvel no sistema CLAE, totalizando volume final de 1 mL. Após agitação do balão, a amostra foi filtrada em filtro Millipore (membrana em politetrafluoretileno – PTFE; 0,45 µm) acoplado em seringa de vidro, e armazenada em frascos de vidro com tampa (5 mL) em freezer (-20°C) para posterior determinação quantitativa do composto.

2.12 CROMATOGRAFIA A LÍQUIDO DE ALTA EFICIÊNCIA

Após a extração do tiametoxam e purificação dos extratos, procedeu-se a quantificação do composto em sistema CLAE (modelo Agilent 100 Séries, com detector de UV), equipado com coluna LiChroCART (25 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro interno), preenchida com LiChrospher RP-18, 5 µm. Utilizou-se como fase móvel solução de água purificada e acetonitrila (grau HPLC – Merck) na proporção 75:25, com fluxo de 0,3 mL por minuto, operando a 254 nm. O tempo de retenção do tiametoxam ficou em torno de 10 minutos.

Quantificou-se o tiametoxam comparando as áreas dos picos das amostras com a curva de calibração, obtida injetando-se soluções de padrão analítico do composto (obtido junto a Syngenta Proteção de Culturas Ltda.) que apresentava especificações de pureza acima de 99%.

2.13 EFICIÊNCIA DOS PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Para verificar a eficiência dos procedimentos, utilizados para a determinação quantitativa do tiametoxam, foram realizados testes de recuperação do composto aplicado em quantidades conhecidas em amostras de folhas, caule e raízes, além da solução nutritiva. Os resultados obtidos para folhas e caule foram extrapolados para folha apical e pecíolos, respectivamente, considerando-se que os tecidos são semelhantes. As plantas utilizadas tinham a mesma idade das plantas empregadas nos experimentos, sendo obtidas da mesma forma.

Após a separação das partes da planta, as mesmas foram pesadas e transferidas para almofariz, adicionando-se alíquota de 1 mL de solução de tiametoxam, em acetona, na concentração 2 µg mL⁻¹ ou 20 µg mL⁻¹ (fortificação).

As amostras de solução nutritiva (200 mL) receberam a aplicação de 1 mL das soluções de tiametoxam. Após a fortificação seguiram-se os procedimentos normais de extração, purificação e determinação quantitativa, conforme descritos anteriormente. Para cada substrato e concentração de tiametoxam foram conduzidas duas repetições.

2.14 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos nos testes de aplicação de tiametoxam nos pecíolos de duas folhas desenvolvidas e no pecíolo de apenas uma das folhas desenvolvidas foram submetidos à análise de variância. Para isso utilizou-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000). Nos casos em que o teste F da ANOVA foi significativo, a comparação das médias ocorreu pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância (SCOTT e KNOTT, 1974).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EFICIÊNCIA DOS PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Os resultados dos testes de recuperação do tiametoxam nas amostras de diferentes partes da mamoneira e da solução nutritiva fortificadas com o composto revelaram porcentagens de recuperação entre 81 e 104% (Tabela 1). Isso mostra que o método analítico utilizado é adequado para determinação do tiametoxam nesses substratos.

TABELA 1 – RECUPERAÇÃO DO TIAMETOXAM EM AMOSTRAS DE DIFERENTES PARTES DA PLANTA FORTIFICADAS COM O COMPOSTO

Parte analisada	Repetição	Peso ou volume da amostra	Fortificação	
			2 µg	20 µg
		g ou mL	%	%
Folhas	1	10,2	89	86
	2	9,1	78	82
	Média	9,7	83	84
Caule	1	9,5	105	92
	2	9,0	100	83
	Média	9,2	102	87
Raízes	1	14,5	90	82
	2	14,8	104	80
	Média	14,7	97	81
Solução nutritiva	1	200	88	86
	2	200	98	89
	Média	200	93	87

Os resultados obtidos nos experimentos foram corrigidos em função dos valores médios da porcentagem de recuperação. Para correção da quantidade encontrada nas folhas, utilizou-se o valor referente à fortificação com 20 µg de tiametoxam por se aproximar mais dos valores observados para essa parte da planta. Já para corrigir os valores encontrados para o caule, as raízes e a solução nutritiva, utilizaram-se os valores médios recuperados na fortificação com 2 µg de tiametoxam de cada uma das partes. Para a correção das quantidades encontradas na folha apical e nos pecíolos, optou-se pela porcentagem recuperada na fortificação com 2 µg de tiametoxam nas folhas e no caule, respectivamente.

Com base no limite mínimo de detecção de tiametoxam no sistema CLAE utilizado (0,01 µg mL⁻¹) e na ausência de interferentes com tempos de retenção coincidentes com o do tiametoxam, conforme verificado na análise da amostras controle, foram estimados os limites mínimos de quantificação do composto em 0,05 µg g⁻¹ para folhas desenvolvidas, 0,01 µg g⁻¹ no caso das demais partes da planta e 0,0001 µg mL⁻¹ em amostras de solução nutritiva.

3.2 TRANSLOCAÇÃO DE TIAMETOXAM APÓS APLICAÇÃO NOS PECÍOLOS DAS DUAS FOLHAS DESENVOLVIDAS

Logo após 24 horas da aplicação, a maior parte do inseticida foi encontrada nas lâminas das folhas desenvolvidas, indicando rápido transporte, via xilema, dos pecíolos para as lâminas foliares (Tabela 2). O composto foi também encontrado, embora em quantidades relativamente baixas, na folha apical, no caule, nas raízes e na solução nutritiva, como resultado do seu transporte via floema nas plantas. O transporte via floema também foi evidenciado pela presença de tiametoxam no exsudado de seiva elaborada coletado na parte inferior do caule.

TABELA 2 – DISTRIBUIÇÃO DO TIAMETOXAM EM MAMONEIRA APÓS SUA INJEÇÃO NO INTERIOR DOS PECÍOLOS DAS DUAS FOLHAS DESENVOLVIDAS (MÉDIA ± ERRO PADRÃO), n = 4

Tempo após injeção	Concentração no exsudado do floema ($\mu\text{g mL}^{-1}$)**	Quantidade (μg) nas partes das plantas e na solução nutritiva*					
		Lâminas foliares	Pecíolos	Folha apical	Caulo	Raízes	Solução nutritiva
24 h	1,01 ± 0,12	26,93 ± 1,86 aC	9,19 ± 3,01 bB	0,67 ± 0,17 aA	1,76 ± 0,11 aA	0,50 ± 0,08 aA	0,24 ± 0,02 aA
48 h	1,15 ± 0,26	30,61 ± 2,91 bB	2,22 ± 0,66 aA	1,12 ± 0,19 aA	1,91 ± 0,40 aA	0,64 ± 0,19 aA	0,55 ± 0,13 aA
72 h	0,82 ± 0,12	24,67 ± 1,29 aB	1,61 ± 0,15 aA	1,60 ± 0,24 aA	2,22 ± 0,14 aA	1,05 ± 0,17 aA	1,45 ± 0,12 bA
CV (%)	36,19						37,76

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$).

**Médias com diferenças não significativas pelo teste F ($p > 0,05$).

***CV = coeficiente de variação.

Os resultados obtidos confirmaram a translocação do tiametoxam no floema de mamoneira (inseticida polar, com $\log K_{ow} = -0,13$). De acordo com Bromilow *et al.* (1987), compostos polares ($\log K_{ow} < 0$) por terem baixa taxa de permeação através de membranas celulares conseguem permanecer nos vasos do floema por maior tempo, o que possibilita seu transporte por longas distâncias através desses vasos. A mobilidade floemática de compostos polares também foi verificada por Chamberlain *et al.* (1984) e Bromilow, Chamberlain e Patil (1990).

Com base no peso das lâminas foliares e na quantidade do composto encontrada nas mesmas, calcularam-se as concentrações do inseticida no floema em relação àquelas encontradas nas lâminas foliares. Os valores médios calculados corresponderam a 34, 30 e 26% em 24, 48 e 72 horas após a injeção nos pecíolos, respectivamente. Admitindo-se que a concentração do tiametoxam no floema nas lâminas foliares seja semelhante àquela no tecido da lâmina foliar (em função da grande ramificação dos vasos e, portanto, grande área de contato entre os vasos do floema e o restante do tecido foliar), esses valores indicam diminuição em torno de 70% na concentração do tiametoxam no floema, entre as lâminas foliares e a parte inferior do caule, numa distância em torno de 30 cm. Bromilow *et al.* (1987), estudando compostos com polaridade semelhante à do tiametoxam, observaram redução nas concentrações de oxamil ($\log K_{ow} -0,47$) e 3-mesilfenilureia ($\log K_{ow} -0,12$) entre a lâmina foliar e o exsudado do floema coletado na região inferior do caule, em torno de 75 e 55%, respectivamente. Tal redução foi atribuída ao escape dos compostos do floema conforme são transportados descendentemente em mamoneira.

A quantidade de tiametoxam na folha apical, 72 horas após a injeção nos pecíolos correspondeu a 6,5% da quantidade encontrada nas lâminas das folhas desenvolvidas e a 2,5% da quantidade aplicada.

No caule e nas raízes foram encontradas quantidades muito baixas de tiametoxam (Tabela 2), fato atribuído ao escape do composto do floema e seu retorno para as folhas, via xilema. Isso ocorre de forma mais pronunciada nas raízes em função da superfície de escape ser maior, devido à ramificação dos vasos. Oliveira e Rigitano (1991) estudaram o transporte do vamidotiom e seus metabólitos ativos (sulfóxido e sulfona de vamidotiom) via floema, em plantas de trigo e de feijão, e também encontraram baixas concentrações do composto nas raízes.

A presença de tiametoxam na solução nutritiva indica que o escape do composto do floema não ocorre exclusivamente para o xilema, mas também para o córtex da raiz, difundindo-se daí para a solução nutritiva. Essa difusão ocorreu gradativamente, com quantidades crescentes do composto sendo encontradas nas raízes até 72 horas desde a aplicação (Tabela 2). Com base no peso das raízes e no volume de solução nutritiva contido no recipiente, calcularam-se as concentrações de $0,06 \mu\text{g g}^{-1}$ nas raízes e de $0,002 \mu\text{g mL}^{-1}$ na solução nutritiva, indicando que ainda não havia sido atingida situação de equilíbrio entre essas concentrações. Briggs, Bromilow e Evans (1982) observaram que a concentração de agrotóxicos não ionizáveis, com $\log K_{ow} < 0$, nas raízes de plantas desenvolvendo-se em solução nutritiva tende a ser muito próxima daquela na solução nutritiva.

Baseando-se nas quantidades de tiametoxam encontradas nas diferentes partes das plantas e na solução nutritiva foram calculadas as quantidades totais remanescentes do composto após 24, 48 e 72 horas desde a aplicação. Em relação à quantidade aplicada, tais valores representaram 62, 59 e 52%, respectivamente. Essa diminuição reflete a degradação do composto no interior da planta.

3.3 TRANSLOCAÇÃO DE TIAMETOXAM APÓS APLICAÇÃO NO PECÍOLO DE APENAS UMA DAS FOLHAS DESENVOLVIDAS

A aplicação do tiametoxam no pecíolo de apenas uma das folhas desenvolvidas resultou na translocação do composto, embora em quantidades relativamente baixas para a folha oposta

(não tratada). Não foi constatada diferença nessa translocação quando a aplicação foi feita na folha desenvolvida mais velha ou na folha desenvolvida mais nova (Tabela 3).

TABELA 3 – DISTRIBUIÇÃO DO TIAMETOXAM EM MAMONEIRA APÓS SUA INJEÇÃO NO INTERIOR DO PECÍOLO DE UMA DAS FOLHAS DESENVOLVIDAS (MÉDIA ± ERRO PADRÃO) n = 4

Tratamento	Quantidade (µg) nas partes das plantas*			
	Folha tratada	Folha oposta	Folha apical	Pecíolo tratado
Injeção no pecíolo da folha desenvolvida mais nova	14,31 ± 0,89	0,97 ± 0,32	0,72 ± 0,14	0,42 ± 0,04
Injeção no pecíolo da folha desenvolvida mais velha	12,35 ± 1,29	0,64 ± 0,23	0,69 ± 0,20	0,93 ± 0,27
CV (%)	18,7	36,9	25,9	26,2

*Médias com diferenças não significativas pelo teste F ($p > 0,05$). CV = coeficiente de variação.

O fato de o composto ter aparecido na folha oposta não tratada mostra sua redistribuição dentro da planta. No experimento anterior, em que se trataram os dois pecíolos, inferiu-se que após descer via floema da folha tratada para o caule e as raízes, o composto retornou para a parte aérea, (lâminas foliares). Quando se tratou apenas o pecíolo de uma das folhas desenvolvidas, o composto chegou à folha oposta não tratada após ter descido via floema e se difundido para o xilema ao longo do caule e também para as raízes. Parte do composto teria retornado para a folha tratada e outra parte para a folha oposta, implicando em sua difusão no caule ou raízes para os vasos do xilema associados à folha oposta (não tratada).

O total do composto exportado (que saiu das folhas via floema) no período de 72 horas corresponde ao somatório do que foi encontrado na folha apical mais o dobro da quantidade encontrada na folha oposta não tratada, assumindo-se que quantidade igual do composto teria retornado para a folha tratada. Então, das 31,5 µg aplicadas no pecíolo mais novo, pelo menos 2,24 µg ou 7,1% foi exportado via floema para outras partes da planta, sendo que as quantidades do composto no caule, raízes e solução nutritiva não foram consideradas.

3.4 CONCENTRAÇÃO DE TIAMETOXAM NA SEIVA ELABORADA DE MAMONEIRA AO LONGO DO TEMPO

Já na primeira hora após a injeção nos pecíolos encontrou-se tiametoxam nos exsudados do floema das plantas. A concentração do composto aumentou gradativamente ao longo do tempo, chegando ao nível máximo em torno de sete horas depois da aplicação, quando se estabilizou. As concentrações médias variaram de 0,5 a 2 µg de tiametoxam por mL de seiva elaborada (Figura 1).

Os resultados obtidos são coerentes com os de Bromilow *et al.* (1987), que observaram a presença de aldoxicarbe ($\log K_{ow} = -0,57$) na primeira hora após a injeção nos pecíolos de folhas desenvolvidas de mamoneira. As concentrações desse composto também foram aumentando, gradativamente, até atingirem o equilíbrio após seis horas desde a aplicação.

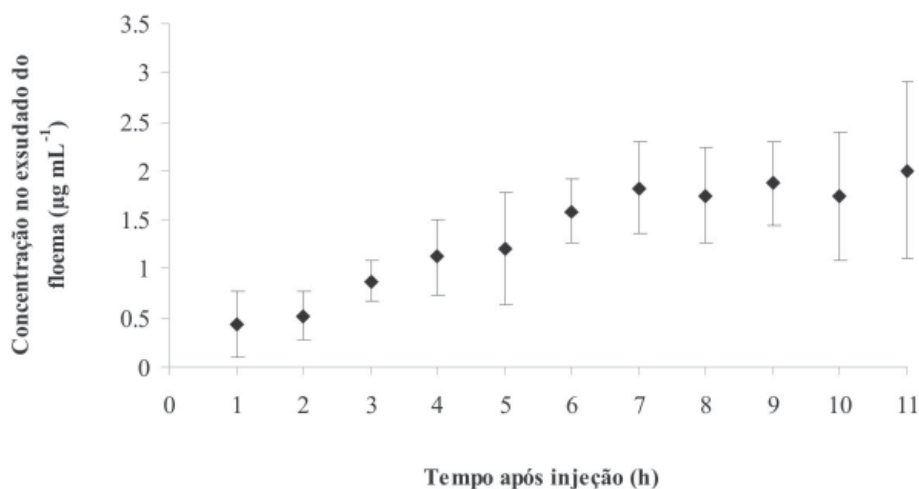


FIGURA 1 – CONCENTRAÇÃO DE TIAMETOXAM NA SEIVA ELABORADA DE MAMONEIRA APÓS INJEÇÃO DO COMPOSTO NO INTERIOR DOS PECÍOLOS

Embora tenha sido verificada a presença do tiametoxam já na primeira hora após a injeção nos pecíolos, os resultados indicam que não houve transferência acentuada do produto contido na solução aplicada no pecíolo diretamente para o floema. Caso isso tivesse ocorrido, a concentração encontrada na seiva elaborada coletada no caule seria muito maior nas primeiras horas após a injeção, uma vez que a solução de aplicação tinha concentração de tiametoxam ($3580 \mu\text{g mL}^{-1}$) muito maior do que aquelas verificadas na seiva elaborada ($0,5$ a $2,0 \mu\text{g mL}^{-1}$). Além disso, as concentrações máximas encontradas na seiva elaborada nesse experimento não foram muito maiores do que aquelas encontradas após 48 ou 72 horas desde a aplicação (item 3.2), quando a concentração do composto nos pecíolos já se encontrava muito baixa em função de sua translocação predominantemente para as lâminas foliares.

3.5 CONCENTRAÇÃO DE TIAMETOXAM NOS EXSUDADOS DO FLOEMA COLETADOS NAS PARTES SUPERIOR E INFERIOR DO CAULE DE MAMONEIRA

No experimento em que foram coletados exsudados de floema nas partes superior e inferior do caule de mamoneiras, que receberam a aplicação de tiametoxam no pecíolo, a concentração do composto no exsudado coletado na parte inferior do caule ($0,50 \mu\text{g mL}^{-1}$ de seiva) foi cerca de 20% menor do que a na parte superior do caule ($0,63 \mu\text{g mL}^{-1}$ de seiva). Esses resultados confirmam que conforme o tiametoxam é transportado descendentemente nas plantas, via floema, o composto vai escapando dos vasos do floema para os tecidos adjacentes do caule.

Embora a translocação floemática do inseticida tiametoxam tenha sido confirmada no presente trabalho, a sua aplicação em folhas desenvolvidas de mamoneira resultou em quantidades relativamente baixas do composto na folha apical não tratada e nas raízes.

Admitindo-se que o padrão de distribuição do tiametoxam, observado em mamoneiras, seja semelhante em outras plantas parece improvável que a aplicação do composto na forma de pulverização sobre as folhas resulte no controle de insetos-praga mastigadores que se alimentam de raízes ou de folhas emitidas após sua pulverização.

Como o tiametoxam foi encontrado em concentrações apreciáveis na seiva elaborada coletada no caule de mamoneira, em relação à sua concentração nas folhas tratadas, é de se

esperar que a translocação floemática desse inseticida, após sua pulverização sobre as folhas de outras plantas, possa exercer o controle de insetos-praga sugadores de seiva elaborada atacando partes da planta que não receberam a pulverização do composto.

Oliveira e Rigitano (1991) verificaram padrões de distribuição do inseticida vamidotiom em trigo e feijoeiro, após a aplicação do composto em folhas desenvolvidas, semelhantes ao observado para o tiametoxam no presente trabalho. A pulverização de vamidotiom, inseticida reconhecidamente translocável via floema em plantas, sobre folhas de videira resultou no controle da cochonilha pérola da terra *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) (Hemiptera: Margarodidae), que ataca as raízes (TEIXEIRA, BOTTON e LOECK, 2002).

Alguns trabalhos têm mostrado que o tiametoxam, aplicado na modalidade de esguicho no colo de plantas de cafeeiro, proporciona o controle não apenas do bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Ménéville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em folhas, mas também de insetos-praga sugadores dessa cultura, como a cochonilha-da-raiz-e-da-roseta *Planococcus minor* (Maskell), a cochonilha-da-raiz *Dysmicoccus texensis* (Tinsley) (= *bispinosus* Beardsley) (Hemiptera: Pseudococcidae) e a cigarra-do-cafeeiro *Quesada gigas* (Olivier) (Hemiptera: Cicadidae) (SOUZA e REIS, 2004; SOUZA *et al.* 2006; SOUZA *et al.*, 2007 e SOUZA, REIS e SILVA, 2007).

Embora o tiametoxam possa entrar em contato com insetos sugadores das raízes (a partir da solução do solo) é possível também que, após penetrar o tronco ou a região inicial da raiz principal, chegue até os vasos do floema e seja transportado junto com a seiva elaborada até pontos mais afastados no sistema radicular, atuando sobre cochonilhas e ninfas de cigarras que estejam se alimentando da seiva floemática nesses locais.

No caso da cochonilha-da-raiz-e-da-roseta, embora o tiametoxam possa atingir os frutos e folhas novas via xilema, é de se esperar que a seiva elaborada vinda das folhas desenvolvidas para os frutos e folhas novas possa contribuir para o controle dessa cochonilha e, eventualmente, da broca-do-café. Ainda que essa última se refira a espécie com hábito mastigador, os frutos constituem dreno apreciável de seiva elaborada.

4 CONCLUSÃO

O tiametoxam é transportado tanto no xilema como no floema em mamoneira.

Uma vez aplicado nas folhas desenvolvidas dessas plantas, o tiametoxam é transportado, via floema, para folhas novas, caule e raízes, embora em quantidades relativamente baixas em relação à quantidade aplicada.

A translocação do tiametoxam verificada em mamoneira reforça a hipótese segundo a qual compostos polares translocam via floema em plantas.

ABSTRACT

TRANSLOCATION OF THE INSECTICIDE THIAMETHOXAM IN THE PHLOEM OF CASTOR BEAN PLANTS, USED AS MODEL PLANTS

The present work aimed to investigate the efficiency of phloem transport of the insecticide thiamethoxam in castor bean plants, used as model plants, due to the easy collection the elaborated sap. The utilized test plants were three weeks old, kept in nutrient solution, remaining two developed leaves and an apical growing leaf per plant. Using a microsyringe, a small volume of an aqueous solution of thiamethoxam was injected inside the petiole of one or both developed leaves. The collection of phloem exudates was performed on the inferior and superior regions of the stem. The concentration of thiamethoxam in the phloem sap and in the different parts of the plants was determined by high performance liquid chromatography, after extraction and purification of the compound. The translocation of thiamethoxam in the phloem of castor bean plants was confirmed, and its concentration in the sap collected from the inferior region of the stem was about 30% of its concentration in the developed leaves. The amount of insecticide in the apical leaf, 72 hours after the application, was of about 2% of the total amount applied. In the roots, the thiamethoxam concentration was very low, due to the transfer of the compound back to the leaves and to the nutrient solution. When applied to a simple mature leaf, significant

amounts of thiamethoxam were verified in the opposite non-treated leaf, as a result of its redistribution inside of the plant. The concentration of the compound in the phloem exudate collected in the inferior part of the stem was about 20% lower than that in the superior part of the stem, confirming that, as the thiamethoxam is transported downwards on the plant, through the phloem, the compound escapes from the phloem vessels to the tissues of the stem adjacent to theme. It was concluded that thiamethoxam is transported both in xylem and in the phloem of castor bean plants, reinforcing the hypothesis that polar compounds translocate in the phloem.

KEY-WORDS: PHLOEM TRANSPORT; SYSTEMIC INSECTICIDE; POLAR COMPOUNDS; *Ricinus communis*; CHROMATOGRAPHY.

REFERÊNCIAS

- 1 ANTUNES-KENYON, S.E.; KENNEDY, G. **Tiametoxam**: a new active ingredient review. Massachusetts: Massachusetts Pesticide Bureau, 2001. 37 p.
- 2 BRIGGS, G.G.; BROMILOW, R.H.; EVANS, A.A. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. **Pesticide Science**, v. 13, n. 5, p. 495-504, 1982.
- 3 BROMILOW, R.H.; CHAMBERLAIN, K.; PATIL, S.G. A rapid method using *Ricinus communis* for the estimation of phloem translocation of xenobiotics. **Pesticide Science**, v. 30, n. 1, p. 1-12, 1990.
- 4 BROMILOW, R.H.; RIGITANO, R.L.O.; BRIGGS, G.G.; CHAMBERLAIN, K. Phloem translocation of non-ionised chemicals in *Ricinus communis*. **Pesticide Science**, v. 19, n. 2, p. 85-99, 1987.
- 5 CHAMBERLAIN, K.; BURRELL, M.M.; BUTCHER, D.N.; WHITE, J.C. Phloem transport of xenobiotics in *Ricinus communis* var. *Gibsonii*. **Pesticide Science**, v. 15, n. 1, p. 1-8, 1984.
- 6 COCHRAN, W.C.; COX, G.M. **Experimental Designs**. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1957. 611 p.
- 7 FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p.255-258.
- 8 HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 32 p. (Circular, 347).
- 9 NOVARTIS CROP PROTECTION. **Determination of CGA 293343 and CGA 322704 by HPLC**: residue method 179.03. Basel, 1998. 46 p.
- 10 OLIVEIRA, P.C.; RIGITANO, R.L.O. Translocação e degradação do inseticida vamidotiom em plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, v. 15, n. 4, p. 331-428, 1991.
- 11 RIGITANO, R.L.O. Resíduos do inseticida aldicarbe em bananas após sua aplicação no solo. **Ciência e Prática**, v.17, n. 2, p. 155-158, 1993.
- 12 SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- 13 SOUZA, J.C. de; OLIVEIRA, B.M.; SANTA-CECÍLIA, L.V.C.; SILVA, R.A.; REIS, P.R. Controle de cochonilhas-farinentas na raiz e rosetas de cafeeiro Conilon, no norte do Espírito Santo, pela aplicação de thiamethoxam 250 WG em esguicho ("drench") no colo da planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2006. p.130-131.
- 14 SOUZA, J.C. de; REIS, P.R. Eficiência de modos de aplicação da mistura de thiamethoxam e cyproconazole, complementada ou não pelo thiamethoxam, formulação WG, no controle das cigarras, ferrugem e bicho-mineiro do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 30., 2004, São Lourenço, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2004. p.281-283.
- 15 SOUZA, J.C. de; REIS, P.R.; RIBEIRO, J.A.; SANTA-CECÍLIA, L.V.C.; SILVA, R.A. Controle químico da cochoniha-da-raiz, *Dysmicoccus texensis* (TINSLEY, 1900) em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v. 2, n. 1, p. 29-37, 2007.
- 16 SOUZA, J.C. de; REIS, P.R.; SILVA, R.A. **Cigarras do cafeeiro em Minas Gerais**: histórico, reconhecimento, biologia, prejuízos e controle. 2.ed. Belo Horizonte: Epamig, 2007. 48 p. (Epamig. Boletim técnico, 80).
- 17 TEIXEIRA, I.; BOTTON, M.; LOECK, A.E. Avaliação de inseticidas visando ao controle de *Eurhizococcus brasiliensis* (Hempel) (Hemiptera: Margarodidae) em novos plantios de videira. **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 3, p. 457-461, 2002.

AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida à primeira autora.