

RENATO PIFFER

MOVIMENTO E DEGRADAÇÃO DE ALDICARBE E SUL-
FONA DE ALDICARBE EM DOIS DIFERENTES SOLOS

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do curso de Pós-Graduação em
Fitossanidade: Entomologia, para obtenção
do grau de "MESTRE".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS

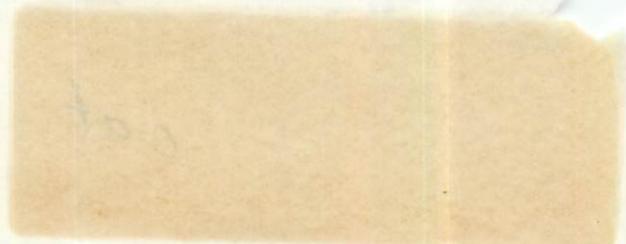
cat

RENATO PIFFER

MOVIMENTO E DEGRADAÇÃO DE ALDICARBE E SUL-
FO DE ALDICARBE EM DOIS DIFERENTES SOLOS

Diante da importância da Lavagem de Alimentos
de Agricultura de Lavagem de Alimentos
originais do curso de Pós-Graduação em
Fitopatologia, Entomologia, Fisiologia
do grau de "MESTRE".

A. PIFFER
M. PIFFER
M. PIFFER



ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVAGEM DE ALIMENTOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVAGEM DE ALIMENTOS

MOVIMENTO E DEGRADAÇÃO DE ALDICARBE E SULFONA DE ALDICARBE EM
DOIS DIFERENTES SOLOS

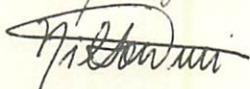
APROVADO:



DR. RENÉ LUIZ DE OLIVEIRA RIGITANO
ORIENTADOR



DR. LUIZ ONOFRE SALGADO



DR. NILTON CURTI

OFERECIMENTO

A minha esposa Geni
e meus irmãos
Luiz Ricardo, Marcos e Mária

Ao meu pai, Daniel, homem de grande
sabedoria, e

A minha mãe, Antônia, pelo amor e ca
rinho transmitidos,

Dedico este singelo trabalho, que
significa parte de minha vida.

BIOGRAFIA DO AUTOR

RENATO PIFFER, filho de Daniel Piffer e Antônia Paolini Piffer, nasceu em São Caetano do Sul, Estado de São Paulo, em 28 de junho de 1960.

Em 1976 ingressou no Instituto de Ensino de São Caetano do Sul, de onde saiu em 1979 com o título de Técnico em Química Industrial.

Em 1981 iniciou o curso de Agronomia na Escola Superior de Agricultura de Lavras, em Minas Gerais, tendo adquirido o título de Engenheiro Agrônomo em julho de 1985.

De agosto a novembro de 1985 trabalhou em campos de produção de sementes na região nordeste do Estado de Minas Gerais.

Em fevereiro de 1986 iniciou na Escola Superior de Agricultura de Lavras, o Curso de Mestrado em Fitossanidade, sob orientação do professor Renê Luiz de Oliveira Rigitano.

Foi contratado pela Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária em maio de 1988, onde ocupa o cargo de pesquisador e responsável técnico pelo Laboratório de Análise de Resíduos de Pesticidas.

AGRADECIMENTOS

A deus, Senhor de todo o Universo, pela grandeza de suas obras e por tudo o que somos.

A meus queridos pais pela valiosa oportunidade que me ofereceram e pela presença constante durante toda a minha vida.

A minha esposa Geni e meus irmãos Luíz Ricardo, Marcos e Márcia pelo apoio e compreensão nos momentos mais difíceis.

A ESAL, através de seus departamentos, principalmente o de fitossanidade.

A CAPES pela Bolsa de Estudos a nível de mestrado concedida durante o curso.

A Rhodia Agro S/A pela colaboração na impressão deste trabalho.

Ao professor Renê Luíz de Oliveira Rigitano pelo valioso trabalho de orientação, convivência durante o curso e espírito de amizade cultivado.

Aos professores César, Luíz Onofre, Vanda, Machado e Júlio César pela convivência durante o curso.

Aos demais professores do Departamento de Fitossanidade da ESAL.

Aos professores José Maria de Lima, Elio Lemos da Silva e Nilton Curi pelo auxílio na execução e interpretação das análises de condutividade hidráulica.

Ao professor Gilnei de Souza Duarte, pelo auxílio na análise estatística.

Aos colegas, companheiros de alegrias e sofrimentos, Valdir Botelho, Paulo A. S. Gonçalves, Jair Campos de Moraes, Marta M. Rossi e Leda Gonçalves, que como eu, dedicaram parte de suas vidas a este curso. Que eles sejam felizes em seus objetivos.

Aos demais colegas e amigos do curso de mestrado.

Aos jovens Rhandus e Ailton pela preciosa colaboração na execução das análises.

Ao meu sogro Pedro Martins, homem com muita bondade e grande sensibilidade, e toda a sua família.

Aos meus tios, Silvano e Terezinha e Bernardina.

Aos colegas e amigos da Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária, pelo apoio na finalização deste trabalho.

A Dirlei P. Nodari de Castro, secretária da EMCAPA, pela dedicação e excelente trabalho de datilografia.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o bom desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1. Fatores que Afetam o Movimento de Pesticidas no Solo.	5
2.2. Simulação do Movimento de Pesticidas no Solo	9
2.3. Degradação de Aldicarbe em Solos	12
2.4. Movimento de Aldicarbe e de seus Metabólitos Tóxicos em Solos	18
2.5. Movimento e Degradação de Pesticidas em Solos Brasi- leiros	24
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Aplicação dos Inseticidas nos Solos	28
3.2. Coleta e Preparo das Amostras de Solo	29
3.3. Extração e Determinação dos Inseticidas das amostras.	29
3.3.1. Solventes e Reagentes Utilizados	29
3.3.2. Extração dos Compostos	30
3.3.3. Determinação de Sulfona de Aldicarbe nas amos- tras de Solo tratado com Standak 5 G ^R	30

3.3.4. Determinação de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldi - carbe e Sulfona de Aldicarbe nas amostras de Solo tratado com Temik 150 ^R	31
3.3.5. Testes de Recuperação de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe em Amos- tras de Solo.....	34
3.3.6. Cromatografia de Camada Delgada.....	35
3.3.7. Quantificação dos Compostos por Cromatografia em Fase Gasosa.....	36
3.4. Determinação do Grau de Umidade do Solo.....	38
3.5. Determinação da Permeabilidade do Solo.....	38
3.6. Determinação do Carbono Orgânico das amostras de Solo	39
3.7. Dados Climatológicos.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1. Recuperação de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe em Amostras de Solo.....	42
4.2. Permeabilidade dos Solos.....	43
4.3. Teores de Carbono Orgânico dos Solos.....	44
4.4. Movimento e Degradação de Sulfona de Aldicarbe nos So- los após a aplicação de Standak 5 G ^R	45
4.4.1. Latossolo Roxo.....	45
4.4.2. Solo Podzólico Vermelho-Amarelo.....	48
4.5. Movimento e Degradação de Aldicarbe nos Solos após a aplicação de Temik 150 ^R	50
4.5.1. Latossolo Roxo.....	50
4.5.2. Solo Podzólico Vermelho-Amarelo.....	61

4.6. Análise Estatística.....	63
4.7. Considerações Finais.....	65
5. CONCLUSÕES.....	70
6. RESUMO.....	72
7. SUMMARY.....	75
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
APÊNDICE.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro	Página
1. Porcentagem de Recuperação de aldicarbe , Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe em amostras de solo.....	42
2. Valores de Permeabilidade para os Solos Latossolo Roxo e Podzólico Vermelho-Amarelo.....	43
3. Teores de Carbono Orgânico em Diferentes Profundidades do Solo.....	44
4. Quantidades de Sulfona de Aldicarbe recuperadas após aplicação de Standak 5 G ^R no Latossolo Roxo em Diferentes intervalos de tempo.....	86
5. Quantidades de Sulfona de aldicarbe recuperadas após aplicação de Standak 5 G ^R no solo Podzólico Vermelho-Amarelo em diferentes intervalos de tempo.....	87
6. Quantidades de resíduos tóxicos totais recuperados a partir da aplicação de Temik 150 ^R no Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo.....	88

Quadro

Página

7. Quantidades de Aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150 ^R no Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo	89
7. Continuação - Quantidades de Sulfóxido de Aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150 ^R no Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo	90
7. Continuação - Quantidade de Sulfona de Aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150 ^R no Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo	91
8. Quantidades de resíduos tóxicos totais recuperados a partir da aplicação de Temik 150 ^R no solo Podzólico Vermelho-Amarelo, em diferentes intervalos de tempo	92
9. Quadro de Análise de Variância	93
10. Dados de Precipitação Pluviométrica	94
11. Valores de Temperatura do Solo	95

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Metabolismo de Aldicarbe em Solos.....	15
2. Quantidades de Sulfona de Aldicarbe em diferentes profundidades nas colunas de Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo após aplicação de Standak 5 G ^R	46
3. Quantidades de Sulfona de Aldicarbe em diferentes profundidades nas colunas de solo Podzólico Vermelho-Amarelo nos diferentes intervalos de tempo após aplicação de Standak 5 G ^R	49
4. Decréscimo na quantidade de resíduos de Sulfona de Aldi - carbe nas colunas dos solos após aplicação de Standak 5 G ^R	51
5. Somatório das quantidades de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldi carbe e Sulfona de Aldicarbe em diferentes profundidades nas colunas do Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo após aplicação de Temik 150 ^R	52
6. Quantidades de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfo- na de Aldicarbe em diferentes profundidades na colunas do Latossolo Roxo, em diferentes intervalos de tempo após a aplicação de Temik 150 ^R	57

Figura	Página
7. Degradação de Aldicarbe no solo Latossolo Roxo.....	60
8. Somatório das quantidades de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldi carbe e Sulfona de Aldicarbe em diferentes profundidades nas colunas de solo Podzólico Vermelho-Amarelo em diferen tes intervalos de tempo após a aplicação de Temik 150 ^R ...	62
9. Decréscimo da quantidade de resíduos tóxicos totais de Al dicarbe nas colunas dos solos após a aplicação de Temik 150 ^R	64

1. INTRODUÇÃO

O controle de insetos e microorganismos prejudiciais às plantas cultivadas tem sido feito principalmente através do uso de substâncias químicas com propriedades biocidas, os pesticidas ou defensivos agrícolas. O uso de tais substâncias tem permitido o controle rápido e eficiente de importantes pragas e doenças das lavouras, diminuindo os enormes prejuízos que essas podem causar na produção. Apesar do desenvolvimento de métodos alternativos de controle, as autoridades mundiais estão convencidas que o uso de defensivos agrícolas continuará, ainda nas próximas décadas, a desempenhar importante papel nos programas de controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

Entretanto, os defensivos agrícolas, via de regra, são tóxicos não apenas aos insetos e microorganismos indesejáveis. Dessa forma, a contaminação de produtos agrícolas e/ou do ambiente com pequenas quantidades dessas substâncias pode afetar diretamente o homem e animais domésticos, os quais podem ingerir defensivos através de alimentos ou água contaminados. Além disso, os defensivos podem afetar a vida selvagem, com acumulação dos compostos nas cadeias alimentares, provocando distúrbios nos ecossistemas presentes nas áreas contaminadas.

É verdade que o uso adequado e criterioso dos defensivos, seguindo-se as recomendações contidas nos rótulos das formulações comerciais, recomendações essas aprovadas pelos Ministérios da Saúde e Agricultura, não deve resultar em contaminação de produtos agrícolas com resíduos de defensivos acima de um nível máximo estabelecido com base na avaliação toxicológica dos defensivos. Mas, é verdade também que o conhecimento detalhado sobre a toxicologia dos defensivos ainda é insuficiente, haja visto alguns exemplos de defensivos que foram recentemente retirados do comércio, a nível mundial ou em áreas isoladas, devido as constatações anteriormente desconhecidas sobre a ação tóxica dos mesmos e o seu destino no meio ambiente.

Os defensivos agrícolas são predominantemente aplicados em pulverização foliar, visando o controle de plantas daninhas, insetos e microorganismos que atacam a parte aérea das plantas. Contudo, para o controle de pragas e doenças das raízes, os defensivos precisam ser aplicados no solo e em quantidades relativamente grandes, a fim de se assegurar uma concentração adequada na zona radicular. Com o advento de defensivos que são eficientemente absorvidos pelas raízes e transportados para as folhas (compostos sistêmicos), a aplicação de defensivos no solo tem sido a cada ano mais significativa.

Uma vez aplicados no solo, os defensivos podem ser transportados pela água das chuvas de duas formas: a) na superfície do solo juntamente com a água de enxurrada, e b) através do perfil

do solo, com os compostos sendo arrastados pela água que percola o perfil do solo. No segundo caso, os defensivos podem ser carregados até os horizontes mais profundos do solo, podendo atingir o lençol freático e conseqüentemente poços e minas d'água. Em ambos os casos, os defensivos podem ser arrastados até córregos, riachos, represas e rios.

Os primeiros defensivos sintéticos utilizados em aplicação no solo foram os inseticidas organoclorados (DDT, BHC, Aldrin, etc.). Esses compostos revelaram-se muito estáveis no ambiente e problemas de contaminação ambiental causados por esses inseticidas não tardaram a aparecer. Assim, o uso desses inseticidas tem sido proibido ou bastante restrito na maioria dos países. Dentre os defensivos atualmente utilizados em aplicação no solo, destacam-se os inseticidas organofosforados (forato, dissulfoton etc.) e carbamatos (aldicarbe, carbofuran, etc.). Esses compostos são degradados no solo muito mais rapidamente que os inseticidas organoclorados, mas, são compostos altamente tóxicos para mamíferos, o que tem despertado a atenção de pesquisadores de vários países para estudos detalhados sobre o metabolismo e transporte desses compostos em solos. Recentemente, metabólitos tóxicos do inseticida aldicarbe foram encontrados em quantidades relativamente altas em poços e minas d'água em algumas áreas agrícolas dos Estados Unidos. Desde então, o uso do referido inseticida tem sido proibido ou restrito nessas áreas.

Devido à grande escala com que os inseticidas sistêmicos para aplicação no solo têm sido usados no Brasil, é de suma impor

tância conhecer-se o destino desses compostos em solos brasileiros. O conhecimento da lixiviação e da degradação desses inseticidas em nossos solos permitiria concluir sobre a disponibilidade dos compostos para o sistema radicular das plantas, bem como avaliar o potencial de contaminação da água do lençol freático e conseqüentemente de poços e minas d'água por esses inseticidas.

Assim, este trabalho foi conduzido com os seguintes objetivos:

- a) estudar o movimento do inseticida aldicarbe e de seus metabólitos tóxicos no perfil de dois solos da região de Lavras-MG, um Latossolo Roxo e um Podzólico Vermelho-Amarelo, após a aplicação de uma formulação granulada de aldicarbe (Temik 150^R).
- b) estudar o movimento do inseticida sulfona de aldicarbe no perfil desses solos, após a aplicação de uma formulação granulada de Sulfona de Aldicarbe (Standak 5 G^R 50 g/kg).
- c) estimar a taxa de degradação dos inseticidas nos solos.
- d) comparar o movimento dos inseticidas nos solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fatores que afetam o Movimento de Pesticidas no Solo

O movimento de pesticidas no solo pode ocorrer por difusão nos espaços ocupados por ar ou água, ou então por fluxo de massa juntamente com a água. A difusão de substâncias químicas no ar é bastante rápida, mas a difusão na água é extremamente lenta. Portanto, o movimento de pesticidas no solo por difusão é mais importante para os compostos altamente voláteis, tais como brometo de metila e isocianato de metila, os quais difundem-se rapidamente nos espaços ocupados pelo ar, HARTLEY & GRAHAM-BRYCE (19).

O movimento no solo de compostos não voláteis ocorre principalmente por fluxo de massa, juntamente com a água. A maioria dos pesticidas é muito pouco volátil, portanto, o movimento desses compostos no solo é governado principalmente pelo movimento da água no solo. A sorção dos pesticidas nas partículas do solo determina a taxa de movimento desses em relação àquela da água.

A sorção dos pesticidas em solos depende basicamente de propriedades físico-químicas dos compostos e da natureza do solo em consideração. Os inseticidas, nematicidas e fungicidas, em sua

grande maioria, são compostos eletricamente neutros, ou seja, não ionizados. Vários pesquisadores têm demonstrado que a sorção de pesticidas não ionizados no solo ocorre principalmente na matéria orgânica do solo. GORING (18) observou uma estreita correlação entre o coeficiente de sorção de um pesticida não ionizado no solo (k_d) e o teor de matéria orgânica (%MO) no solo. Com base nessa observação, esse autor concluiu que o coeficiente de sorção de um pesticida na matéria orgânica do solo (K_{om}) é relativamente constante em vários tipos de solo. Assim, numa situação de equilíbrio, tem-se:

$$k_d = \frac{\text{Concentração do pesticida nos sólidos do solo}}{\text{Concentração do pesticida na água do solo}}$$

$$K_{om} = \frac{\text{Concentração do pesticida na matéria orgânica do solo}}{\text{Concentração do pesticida na água do solo}}$$

$$k_d = K_{mo} \cdot MO \% / 100$$

Quanto menor o valor de K_{mo} , maior será a proporção do pesticida na solução do solo e, portanto, maior será a mobilidade potencial do pesticida no solo.

A polaridade do pesticida determina o seu valor de K_{om} , com alta polaridade implicando em maior concentração na fase aquosa e menor K_{om} . BRIGGS (5) determinou o valor de K_{om} de 30 compostos não ionizados em solos da Inglaterra e obteve uma estreita correlação entre o valor de K_{mo} e a polaridade dos compostos, a qual foi obtida determinando-se o coeficiente de partição do composto entre octan-1-ol e água (K_{ow}), sendo:

$$\log K_{om} = 0,52 \log K_{ow} + 0,62$$

HELLING & TURNER (21) mediram o movimento de 25 pesticidas em placas de cromatografia de camada delgada preparadas com amostras de solo dos Estados Unidos. Usando água como eluente, esses autores verificaram o fator de retenção (Rf) de cada composto nas placas e, de acordo com valores de Rf, dividiram os pesticidas em cinco classes de mobilidade. BRIGGS (5) determinou o valor de $\log K_{ow}$ desses pesticidas e obteve uma estreita correlação entre os valores de $\log K_{ow}$ e os fatores de retenção (Rf) descritos por HELLING & TURNER (21). Dessa forma, BRIGGS (5) pode estabelecer uma correlação entre o valor de K_{ow} dos pesticidas e a classe de mobilidade naquele solo dos Estados Unidos. A mobilidade dos pesticidas em outros solos depende do teor de matéria orgânica no solo, com a mobilidade aumentando à medida que diminui o teor de matéria orgânica.

BRIGGS (6) determinou o valor de K_{om} de cerca de 70 compostos em vários tipos de solo da Inglaterra. O Dr. Briggs comprovou que os valores de K_{om} de um composto variam muito pouco entre diferentes tipos de solo, ao passo que os valores de K_{om} entre os pesticidas variam em até 5 ordens de magnitude. Foram confirmadas as correlações anteriormente propostas pelo autor, o qual foi mais adiante, tendo relacionado a polaridade dos inseticidas (K_{ow}) com classes de mobilidade em solos com diferentes teores de matéria orgânica. A título de exemplificação, para um solo com 2,5% de matéria orgânica, um pesticida com $\log K_{ow} < 0$ (muito polar) seria in-

cluído na classe de alta mobilidade, outro com $\log K_{ow}$ entre 1 e 2 estaria na classe de mobilidade intermediária e outro com $\log K_{ow} > 4$ (muito lipofílico) estaria na classe de mobilidade extremamente baixa.

A vantagem dessa correlação é que pode-se ter uma boa indicação da mobilidade potencial de um pesticida no solo conhecendo-se apenas o valor de K_{ow} do composto e o teor de matéria orgânica do solo. O valor de K_{ow} de um composto pode ser determinado com certa facilidade ou então estimado, conhecendo-se a solubilidade do composto em água e o seu ponto de fusão, BRIGGS (6).

Diversos outros trabalhos têm comprovado que o movimento de pesticidas em solos está relacionado com o grau de sorção dos compostos nos solos. BROMILOW (7) estudou o movimento de diversos pesticidas em colunas de um solo da Inglaterra, em condições de laboratório, incorporando os pesticidas no topo da coluna e em seguida aplicando um certo volume de água sobre a coluna; foi observado que o movimento foi maior para compostos com menores coeficientes de sorção no solo. BROMILOW & LORD (11) mostraram que a lixiviação de oxamyl em colunas de solo no laboratório foi inversamente proporcional ao teor de matéria orgânica dos solos. LEISTRA et alii (28) estudaram a lixiviação de aldicarbe e seus produtos de oxidação em solos da Holanda, em condições de laboratório, e observaram que os compostos foram bastante móveis no solo, o que foi explicado pelos autores como sendo devido aos baixos valores de coeficiente de sorção dos compostos nos solos.

Uma vez que o movimento de pesticidas em solos ocorre

principalmente por fluxo de massa, juntamente com a água, a taxa de movimento dos compostos é influenciada pela taxa de movimento da água no solo. A taxa de movimento da água no solo é influenciada pela textura e estrutura do mesmo, sendo essa taxa via de regra maior em solos arenosos do que em argilosos, exceto solos argilosos com estrutura granular (Prof. José Maria de Lima, ESAL, comunicação pessoal). A estrutura do solo influencia o movimento dos pesticidas não apenas por afetar a taxa de movimento da água no solo; segundo NICHOLLS et alii(33) os compostos movem menos em solos com estrutura em blocos porque, após chuvas pesadas, a água percola rapidamente através dos poros maiores e não há tempo para que os compostos no interior dos agregados entrem em equilíbrio com a água percolando os poros maiores entre os agregados.

O movimento de pesticidas em solos depende da quantidade de água que percola o solo. Essa quantidade depende da precipitação pluviométrica, da irrigação e da evapotranspiração da água no solo. Em períodos chuvosos, o movimento da água é descendente, mas em períodos secos, quando a evapotranspiração excede a precipitação mais irrigação, o movimento da água e pesticidas pode ser ascendente, devido à ação da capilaridade. LEISTRA et alii(26) observaram movimento ascendente de oxamyl em solos da Holanda durante períodos de seca.

2.2. Simulação do Movimento de Pesticidas nos Solos

A aplicação de pesticidas de solo tem se tornado cada vez

mais frequente em todo o mundo, entretanto, pode-se esperar que o comportamento de um determinado pesticida pode variar amplamente de acordo com as condições climáticas nos diferentes locais; variabilidade no tipo de solo; diferenças entre as camadas de um mesmo solo e ainda a cultura instalada no local de aplicação.

Com base no conhecimento dos principais fatores que afetam o movimento de pesticidas no solo, alguns pesquisadores têm desenvolvido modelos matemáticos para simular a movimentação dos pesticidas no solo. LEISTRA et alii(26) desenvolveram um modelo, o qual requer informações sobre a precipitação pluviométrica; evapotranspiração; condições do solo como temperatura, tensão da água e condutividade hidráulica do solo (ambos em função do teor de umidade do solo), sorção do composto, a influência da estrutura do solo na dispersão do composto e a taxa de degradação do composto em diferentes condições de temperatura e umidade do solo. Com auxílio de um computador, esse modelo simula o movimento da água assim como o movimento e a degradação do pesticida no perfil do solo. LEISTRA et alii(26) demonstraram que tal modelo descreveu razoavelmente bem a degradação do pesticida em vários solos da Holanda. BROMILOW e LEISTRA (9) investigaram o movimento de aldicarbe e de seus produtos de oxidação em solos franco-arenosos na Inglaterra, em condições de campo, e observaram que o mesmo modelo simulou os resultados observados razoavelmente bem. LEISTRA & SMELT (27) quantificaram o movimento no solo do nematicida etoprosófós, em condições de campo, e constataram que o movimento simulado foi bastante próximo ao observado.

A obtenção de valores precisos para todos os parâmetros utilizados por esse modelo seria demorada e trabalhosa. Porém, predições do movimento de pesticidas no solo podem ser feitas estimando-se muitos dos parâmetros. Os dados climáticos são normalmente disponíveis, medições da sorção do composto no solo são relativamente fáceis, uma razoável estimativa dos parâmetros que definem o movimento da água no solo pode ser obtida a partir de compilações feitas em diferentes tipos de solo e as taxas de degradação do pesticida em diferentes condições de temperatura e umidade do solo podem ser medidas em condições de laboratório, BROMILOW & LEISTRA(9).

Outros modelos para a simulação do movimento de pesticidas no solo foram desenvolvidos pela Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency) dos Estados Unidos. Uma breve descrição desses modelos foi feita por JONES et alii(24). O modelo denominado PRZM (Pesticide Root Zone Model) foi testado por JONES et alii(24), que compilaram resultados obtidos por outros pesquisadores sobre o movimento de aldicarbe e seus produtos de oxidação em vários solos dos Estados Unidos e compararam com resultados simulados por esse modelo. Os autores concluíram que tal modelo foi bastante útil na predição da profundidade do solo a que chegaram os resíduos, embora algumas discrepâncias tenham sido detectadas com relação à concentração dos compostos em diferentes profundidades do solo. Os parâmetros utilizados por esse modelo são basicamente os mesmos utilizados pelo modelo desenvolvido por LEISTRA et alii (26).

A concordância razoável entre resultados observados e previstos acerca do movimento de pesticidas em solos indica que os parâmetros que determinam esse movimento são realmente aqueles considerados pelos modelos de simulação. Por outro lado, a possibilidade de se prever o movimento de pesticidas em solos permite uma extraordinária economia de tempo e de recursos financeiros, os quais seriam gastos em estudos sobre a lixiviação de pesticidas em vários tipos de solo, em diferentes condições climáticas, a fim de se conhecer o potencial de contaminação da água do lençol freático, e subsequentemente de poços e minas d'água, pelos pesticidas. Contudo, a aplicabilidade de modelos de simulação para condições bastante divergentes de solo e clima precisa ser investigada, comparando-se resultados simulados com aqueles observados em experimentos de campo nos quais os parâmetros necessários ao modelo tenham sido bem definidos. No caso de haver discrepâncias entre os resultados simulados e observados significa que trabalhos adicionais de experimentação ou modelação precisam ser conduzidos.

2.3. Degradação de Aldicarbe em Solos

O inseticida-nematicida aldicarbe é formulado somente como produto granulado, o qual é comercializado mundialmente com o nome de Temik^R. As formulações apresentam 5, 10 ou 15% do ingrediente ativo, sendo que atualmente no Brasil apenas a formulação Temik 150^R (150 g de aldicarbe/kg ou 15%) tem sido comercializada.

Uma vez incorporado no solo, a liberação de aldicarbe dos

grânulos depende do teor de umidade do solo. Em solos muito secos o aldicarbe permanece no interior dos grânulos. A liberação de aldicarbe para a solução do solo ocorre quando a umidade do solo atinge pelo menos 5%; em solos úmidos aldicarbe é rapidamente liberado dos grânulos, UNION CARBIDE PRODUTOS AGROPECUÁRIOS (36).

Após a liberação de aldicarbe dos grânulos inicia-se a degradação do composto no solo. Vários estudos sobre a degradação de aldicarbe no solo têm demonstrado que o primeiro passo na transformação de aldicarbe é a sua oxidação a sulfóxido de aldicarbe. Esse processo de oxidação é uma reação que ocorre com relativa rapidez e muito pouco aldicarbe é encontrado algumas semanas após a aplicação em solos úmidos. Parte do sulfóxido de aldicarbe formado é oxidado a sulfona de aldicarbe, sendo essa reação um processo relativamente lento. Tanto sulfóxido como sulfona de aldicarbe são ativos como pesticidas e, a exemplo de aldicarbe são altamente tóxicos para os mamíferos. Ao mesmo tempo que ocorre a oxidação de aldicarbe e de seu sulfóxido, ocorre também a hidrólise destes e de sulfona de aldicarbe para formar as respectivas oximas, que por desidratação darão origem as nitrilas correspondentes. As oximas e nitrilas de aldicarbe e seus metabólitos são compostos não carbamatos, inativos como pesticidas e relativamente pouco tóxicos para mamíferos (1, 8, 12, 28, 29). Um esquema dessas transformações é mostrado na Figura 1.

LEISTRA et alii (28) estudaram a degradação de aldicarbe em alguns solos da Holanda, em condições de laboratório, e observa

ram que a oxidação de aldicarbe a sulfóxido de aldicarbe seguiu uma cinética de primeira ordem com valores de meia vida ao redor de 2 dias; a conversão de sulfóxido de aldicarbe também seguiu uma cinética de primeira ordem com valores variando entre 12 e 23 dias nos solos estudados. BROMILOW et alii (8) obtiveram resultados semelhantes em seus estudos com solos da Inglaterra. Esses autores observaram que nem todo o aldicarbe aplicado foi convertido a sulfóxido de aldicarbe; da mesma forma que nem todo o sulfóxido de aldicarbe foi convertido a sulfona de aldicarbe. Nos vários solos estudados por BROMILOW et alii (8), a porcentagem de aldicarbe convertido a sulfóxido de aldicarbe variou entre 50 a 73%. A fração não oxidada de aldicarbe ou sulfóxido de aldicarbe, segundo os autores, sofreu hidrólise formando oximas e posteriormente nitrilas correspondentes, embora a possibilidade de alguma perda de aldicarbe do solo por volatilização não tenha sido descartada.

Sulfóxido e sulfona de aldicarbe têm propriedades pesticidas comparáveis a aquelas de aldicarbe. Porém, conforme mostrado na Figura 1, esses produtos têm baixos valores de DL_{50} para ratos indicando, a exemplo de aldicarbe, alta toxicidade para mamíferos. As oximas e nitrilas, segundo LIGHTFOOT et alii (29) têm pouca importância no que diz respeito a contaminação ambiental porque elas são relativamente pouco tóxicas e porque continuam sendo degradadas no solo em compostos praticamente atóxicos.

Sob o ponto de vista de contaminação ambiental, torna-se importante o conhecimento da taxa de degradação de aldicarbe em com

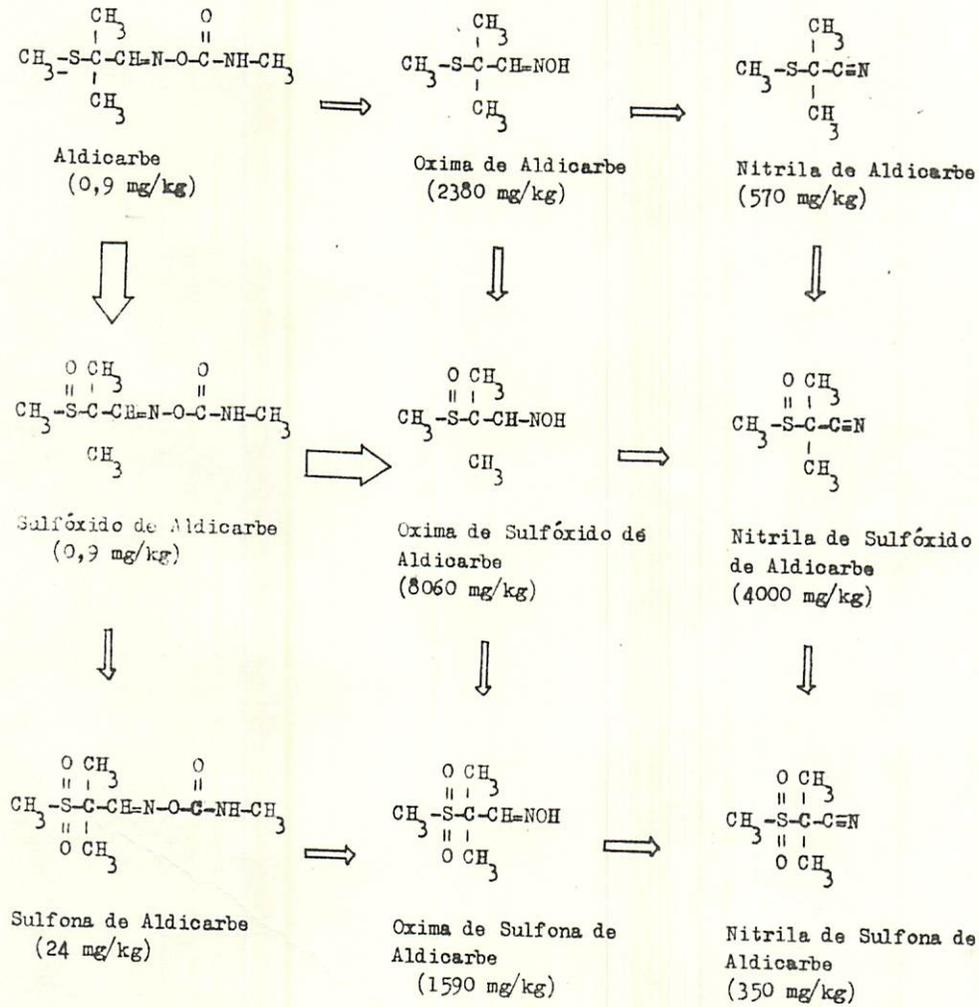


FIGURA 1 - Metabolismo de Aldicarbe em Solos. As flechas maiores indicam os caminhos principais. Os valores entre parênteses indicam as DL 50 orais agudas para ratos, expressas em miligramas do produto por quilograma de peso vivo. Union Carbide Produtos Agropecuários, 1983.

postos não carbamatos. Essa degradação em solos é o resultado de uma série de reações de oxidação, hidrólise e desidratação até a formação de oximas e nitrilas de aldicarbe e/ou de seus produtos de oxidação.

BULL et alii (12) estudaram a degradação de aldicarbe, em condições de laboratório, em vários solos dos Estados Unidos (Texas) e observaram que a meia vida de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos foi superior a 56 dias. DIKSHIT et alii (15) estudaram a degradação de aldicarbe em solos da Índia em condições de campo, e observaram que a meia vida de degradação de aldicarbe em compostos não tóxicos foi de aproximadamente 17 dias. LIGHTFOOT et alii (29) estudaram a degradação de aldicarbe em solos da Carolina do Norte - EUA, em condições de laboratório, e observaram que a meia vida de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos variou em torno de 44 dias em amostras da região arável do solo e em torno de 123 dias em amostras da região do lençol freático. JONES (22), então pesquisador da Union Carbide Agricultural Products Inc., companhia fabricante de aldicarbe, relata que a meia vida de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos na faixa arável de vários solos dos Estados Unidos variou de 0,5 a 3 meses.

Diversos fatores afetam a taxa de degradação de aldicarbe no solo. BULL et alii (12) observaram para vários tipos de solo que o aumento da umidade do solo aumentou sensivelmente a taxa de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos. Esses autores observaram também que a degradação de aldicarbe foi mais intensa

em solos mais argilosos e com maior teor de matéria orgânica. BRO
MILOW et alii(8) observaram que a diminuição da temperatura ou da
umidade do solo diminuiu sensivelmente a taxa de degradação de al
dicarbe em dois tipos de solo, embora a proporção de sulfóxido de
aldicarbe oxidado a sulfona de aldicarbe tenha decrescido com o au
mento da temperatura e umidade do solo.

LIGHTFOOT et alii(29) investigaram detalhadamente a influ
ência de diversos fatores sobre a degradação em solos, de aldicar
be e seus produtos de oxidação. Em solos esterilizados, a oxida
ção de aldicarbe foi praticamente nula e a hidrólise foi o princi
pal mecanismo de degradação, indicando que a oxidação de aldicarbe
é feita por microorganismos do solo. Foi constatado que a tempera
tura do solo afetou sensivelmente a taxa de degradação de aldicar
be e de seus produtos de oxidação, com as taxas de degradação au
mentando dezenas de vezes com o aumento da temperatura do solo de
25°C para 60°C. Também foi constatada uma forte influência do pH
do solo na taxa de degradação de sulfóxido e sulfona de aldicarbe,
com os compostos sendo mais estáveis em torno de pH 5 e menos em
condições de pH inferiores ou superiores a 5.

Outra importante constatação feita por LIGHTFOOT et alii
(29) foi a de que as taxas de degradação de aldicarbe e de seus pro
dutos de oxidação em solos são muito menores na região do lençol
freático do que na região arável do solo. Experimentos conduzidos
no laboratório, incubando-se aldicarbe com amostras de solo coleta

das das regiões arável e do lençol freático, mostraram valores de meia vida de degradação de aldicarbe em compostos não tóxicos por volta de 44 dias em amostras da região arável do solo e 123 dias em amostras da região do lençol freático. Os autores sugeriram que essa diferença foi devida principalmente a diferenças de pH nas duas regiões do solo e que, em condições de campo, a diferença pode ser maior devido a temperatura mais baixa na região do lençol freático. Com base nos resultados de seus estudos sobre degradação e movimento de aldicarbe em vários solos do Estados Unidos JONES (22) calculou a meia vida de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos na região do lençol freático dos solos, tendo observado valores entre um mês e três anos, com os maiores valores correspondendo a locais onde a temperatura e o pH do subsolo eram mais baixos.

2.4. Movimento de Aldicarbe e de seus Metabólitos Tóxicos em Solos

Trabalhos sobre o movimento de aldicarbe e seus metabólitos tóxicos em solos foram conduzidos por vários pesquisadores em diferentes países. Sulfóxido e sulfona de aldicarbe são fracamente adsorvidos pela matéria orgânica do solo, BROMILOW (7) e LEISTRA et alii (28), e portanto, como era de se esperar, os resultados desses trabalhos revelaram que esses compostos têm mobilidade relativamente alta em solos, com a quantidade de resíduos lixiviada além de certa profundidade dependendo das taxas de movimento e de

gradação dos resíduos no solo.

BROMILOW (7) estudou a degradação e lixiviação de aldicarbe em um solo franco-arenoso na Inglaterra, 3% de matéria orgânica, em condições de campo, após a aplicação do composto no início da primavera. Após 8 semanas desde a aplicação do composto, com um total de 91 mm de chuvas, cerca de 60% dos resíduos tóxicos remanescentes estavam presentes nos primeiros 10 cm de solo, não tendo sido detectados resíduos abaixo dos 30 cm de profundidade. Os resíduos tóxicos remanescentes após 8 semanas representaram apenas 2% da dose aplicada de aldicarbe, indicando uma rápida degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos naquele solo. Trabalhos subsequentes sobre a lixiviação de aldicarbe no mesmo solo, BROMILOW & LEISTRA (9) revelaram resultados semelhantes. Segundo esses autores, a lixiviação dos metabólitos tóxicos de aldicarbe no solo foi menor que a esperada com base nos baixos valores de coeficientes de adsorção dos compostos no solo, o que foi atribuído ao movimento ascendente dos compostos, juntamente com a água, durante períodos de seca. Contudo, conforme ressaltado pelos autores, se os resíduos fossem mais estáveis e persistissem no solo até o outono, então, uma considerável lixiviação dos compostos seria esperada uma vez que nessa época a precipitação pluviométrica excede a evapotranspiração e a taxa de degradação dos compostos no solo seria bem menor com o abaixamento da temperatura.

DEJONCKREE et alii (14) investigaram o movimento de aldicarbe em três tipos de solo da Bélgica, sob três níveis de irriga

ção, e constataram que a lixiviação dos resíduos de aldicarbe foi afetada pelo tipo de solo e nível de irrigação. Os níveis de irrigação foram tais que simularam a precipitação normal na área (300 mm), a metade e o dobro dessa, tendo sido utilizadas coberturas plásticas para evitar a interferência das chuvas nas parcelas. Nos solos franco-argilosos, sob qualquer nível de irrigação, a concentração dos resíduos até os 92 dias desde a aplicação foi sempre maior nos primeiros 10 cm de solo e muito pouco foi encontrado além dos 20 cm. Já para o solo franco-arenoso sob o nível mais alto de irrigação, a concentração dos resíduos a partir dos 70 dias desde a aplicação foi maior na profundidade entre 20 e 30 cm do que próximo à superfície do solo. Concentrações dos resíduos abaixo dos 30 cm não foram determinadas.

DIKSHIT et alii(15) investigaram a degradação e a lixiviação de aldicarbe em um solo da Índia. Os autores observaram que os resíduos tóxicos lixiviam além dos 15 cm de profundidade aos 30 dias após aplicação, embora a concentração dos resíduos permanesse maior nos primeiros 15 cm de solo. A degradação dos resíduos foi rápida e esses não foram detectados aos 80 dias após aplicação.

Os trabalhos anteriormente mencionados indicam uma lixiviação não muito intensa de aldicarbe e de seus metabólitos tóxicos nos solos estudados. Contudo, resíduos de aldicarbe acima de 7 µg/l foram encontrados na água de centenas de poços de uma região produtora de batatas em Long Island, New York - EUA, ZAKE et alii(39),

indicando intensa lixiviação dos resíduos de aldicarbe nos solos daquela região. Resíduos de aldicarbe também foram encontrados em poços de água de outros estados dos Estados Unidos, incluindo Califórnia, Maine, Massachussetts, Flórida e Wisconsin, JONES (22).

No Estado de Wisconsin, resíduos de aldicarbe foram detectados em poços de água potável localizados em áreas onde os solos são arenosos e o lençol freático é raso. Aldicarbe começou a ser utilizado na área em 1980, principalmente em cultura de batata. Em 1981, resíduos de aldicarbe em poços de água potável foram detectados pela primeira vez. Desde então, resíduos de aldicarbe foram encontrados em mais de 300 poços, em concentrações variando de 1 a 100 µg/l. Subsequentemente, as autoridades do estado passaram a regularizar e restringir o uso de aldicarbe em todo o estado, FIORI et alii (17).

Devido ao aparecimento de resíduos de aldicarbe em poços de água em várias regiões dos Estados Unidos, muitos programas de pesquisa foram conduzidos por pesquisadores da companhia produtora de aldicarbe, a fim de proporcionar um melhor entendimento sobre a degradação e lixiviação de aldicarbe em diversas condições de solo e clima. Os resultados de alguns desses programas são descritos a seguir.

JONES & BACK (23) investigaram o movimento e degradação de aldicarbe em solos cultivados com frutas cítricas, em seis diferentes áreas do estado da Flórida - EUA. Foi observada uma rápida degradação dos resíduos nos solos e os autores calcularam que ape

nas 1% do total de aldicarbe aplicado seria lixiviado para além de 1 m de profundidade nos solos. Análises da água de poços próximos às áreas de estudo revelaram que apenas 2 poços próximos a uma das áreas continham resíduos de aldicarbe acima do limite mínimo de detecção (1 $\mu\text{g}/\text{l}$); nesses, as concentrações dos resíduos foi inferior a 4 $\mu\text{g}/\text{l}$.

JONES et alii(25) apresentaram os resultados de estudos sobre a degradação e movimento de aldicarbe em solos de sete estados dos Estados Unidos (Arizona, North Caroline, Virgínia, Michigan, Indiana, Wisconsin e Flórida). Detalhes sobre os solos, condições climáticas e culturas são apresentados pelos autores. Nos solos estudados a meia vida de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos variou entre 0,5 e 2 meses. A profundidade máxima de lixiviação (definida como sendo aquela abaixo da qual a concentração dos resíduos é inferior a 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$) variou de 0,6 a 1,8 m nos solos estudados. Uma vez que o lençol freático nos solos estudados é muito profundo, os autores concluíram pelos seus resultados que o aldicarbe não contaminaria poços de água naquelas áreas de estudo. Contudo, no solo experimental da Flórida, devido ao lençol freático raso (entre 0,5 e 0,8 m), foram efetuadas análises de água de poços nas proximidades da área, tendo sido encontrados resíduos em concentrações de até 32 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Em um relatório técnico bastante detalhado, JONES (22) descreve e discute resultados de vários anos de pesquisa sobre o movimento e degradação de aldicarbe em solos de 36 áreas experimen

tais, localizados em 14 estados dos Estados Unidos. Este relatório apresenta também resultados de análises dos resíduos em poços de água nessas áreas e em outros 20 estados norte-americanos. A profundidade máxima de lixiviação dos resíduos (abaixo da qual a concentração é inferior a 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$) foi menor do que 2 m na maioria dos solos, mas, essa profundidade foi maior que 3 m em vários solos da Florida, Califórnia e Wisconsin, chegando a 5 ou 8 metros em alguns casos. Análises de monitoramento dos resíduos de aldicarbe na água de poços revelaram que nos estados de New York (Long Island), Massachusetts, California, Maine, Rhode Island e Wisconsin houve maior incidência de poços contaminados com concentrações acima de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ (limite máximo tolerável de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), com cerca de 5 a 12% dos poços analisados nas áreas de estudo nesses estados contendo concentrações acima desse limite.

De posse dos resultados experimentais e das condições de solo e clima nas áreas de estudo, JONES (22) concluiu em seu relatório que a lixiviação dos resíduos até o lençol freático ocorre apenas em áreas onde o lençol freático é raso, ou então, em áreas com solos arenosos e acídicos, onde a taxa de movimento dos resíduos no solo é alta e a taxa de degradação é baixa. Em certas áreas da Califórnia onde os resíduos de aldicarbe foram detectados na água de poços, são caracterizados por solos com lençol freático mais profundo (3 a 9 m) e JONES (22) atribuiu essa contaminação a uma combinação de fatores incluindo alta precipitação pluviométrica, solos bastante permeáveis, baixo pH e baixa temperatura no len

çol freático dos solos. De acordo com o autor, a possibilidade de contaminação de poços de água com resíduos de aldicarbe depende da quantidade de aldicarbe que chega ao lençol freático, da taxa de degradação dos resíduos no lençol freático, da taxa de movimento da água do lençol freático e da distância entre os poços e as áreas tratadas. Segundo o autor, uma vez que o teor de matéria orgânica é normalmente muito baixo no lençol freático, a taxa de movimento dos resíduos no lençol freático é a mesma da água, a qual foi estimada variar entre 0,03 e 0,5 m/dia nos solos estudados.

JONES (22) cita em seu relatório que, após a detecção de resíduos de aldicarbe na água de poços em algumas regiões dos Estados Unidos, a companhia produtora de aldicarbe deliberadamente interrompeu a venda do produto em áreas de maior risco e/ou propôs às autoridades a proibição do uso do produto nas proximidades de poços de água potável. Em alguns estados, por decisão das autoridades, o uso de aldicarbe foi proibido em todo o estado.

2.5. Movimento e Degradação de Pesticidas em Solos Brasileiros

Trabalhos realizados no Brasil sobre o destino de pesticidas em solos são muito raros e a maioria desses restringiu-se a estudos sobre a persistência de compostos em nossos solos.

BLANCO (3) comparou o poder residual de alguns herbicidas e inseticidas num solo do estado de São Paulo e observou que o poder residual de herbicidas do grupo das uréias foi menor que aque

le de inseticidas organoclorados; dentre os pesticidas estudados, os inseticidas organofosforados apresentaram o menor poder residual. BLANCO et alii(4) estudaram o poder residual do herbicida trifluralin em um solo barrento da região de Pirassununga - SP e observaram que decorridos 168 dias desde a incorporação no solo, o herbicida não mais apresentou atividade residual.

FERREIRA (16) analisou 169 amostras de solos provenientes de diversas regiões cultivadas do estado de São Paulo e encontrou níveis de resíduos da ordem de 0,02 ppm para DDT e homólogos, 0,008 ppm para BHC; 0,009 ppm para endrin e 0,12 ppm para aldrin. BATISTA et alii(2) encontraram resíduos de dodecacloro em concentrações variando de 0,001 a 0,01 ppm em amostras de solo tratado com isca formicida.

Os únicos trabalhos sobre lixiviação de pesticidas em solos brasileiros foram conduzidos por pesquisadores do Instituto Biológico - São Paulo. LORD et alii(31) estudaram a sorção e o movimento de 6 inseticidas em placas de cromatografia de camada delgada preparadas com amostras de 7 solos agrícolas do estado de São Paulo e encontraram que em geral, todos os compostos movimentaram-se com menor intensidade e sofreram maior sorção nos solos mais ricos em matéria orgânica. Foi constatado que aldrin e DDT não deslocaram do ponto de aplicação nas placas em nenhum dos solos estudados, o que foi atribuído a alta sorção desses compostos na matéria orgânica dos solos. O inseticida carbaril foi aquele que sofreu sorção menos intensa e apresentou maior mobilidade nas placas.

HELENE et alii (20) estudaram o movimento e degradação do inseticida aldrin (marcado com C^{14}) em dois tipos de solo, um com alto teor de matéria orgânica e outro com baixo teor. Tubos de P.V.C. foram preenchidos com os solos e em seguida introduzidos em canteiros de areia, de forma que a superfície do solo no interior dos tubos ficou no mesmo nível que a areia fora dos tubos. O inseticida foi aplicado nas colunas de solo, a 2 cm de profundidade, dissolvido em 1 ml de hexano. Foi observado que no solo rico em matéria orgânica, o movimento de aldrin foi bem menos intenso que no outro solo. Aos 360 dias após a aplicação, a quantidade remanescente do aldrin encontrava-se quase que exclusivamente nos primeiros 5 cm no solo rico em matéria orgânica, enquanto que no outro solo, o aldrin foi encontrado até 20 cm de profundidade.

RÜEGG et alii (34) estudaram o movimento do inseticida lindano (marcado com C^{14}) em dois solos do município de São Paulo. Tubos de P.V.C. também foram utilizados, mas os tubos foram introduzidos diretamente nos solos com auxílio de uma marreta. Foi observado que o inseticida foi mais intensamente lixiviado no solo Latossolo Vermelho-Amarelo do que no solo Gley Húmico, o que foi atribuído a maior retenção do inseticida no solo Gley Húmico, devido ao maior teor de matéria orgânica nesse solo. Foi constatado o movimento do inseticida até a profundidade de 20 cm em ambos os solos, porém, deve-se ressaltar que as determinações foram feitas medindo-se a radioatividade em diferentes profundidades do solo, o que pode não

refletir a presença do lindano mas sim de seus produtos de degradação marcados com C^{14} .

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Aplicação dos Inseticidas nos Solos

O experimento foi instalado no dia 26/10/86 em campos experimentais da Escola Superior de Agricultura de Lavras em dois diferentes solos, um Podzólico Vermelho-Amarelo, situado em uma área pertencente ao apiário da Escola, e o outro, um Latossolo Roxo, situado próximo ao Departamento de Fitossanidade. Os solos foram encontrados arados e gradeados, sendo que tais operações haviam sido feitas a aproximadamente um ano antes da instalação do experimento. Com auxílio de uma marreta, em cada solo foram introduzidos 12 canos de P.V.C., cada um com 50 cm de comprimento, 5 cm de diâmetro interno e 5 mm de espessura, sendo que uma das extremidades de cada cano foi afinada em um esmerilho, para facilitar a introdução dos mesmos no solo. No dia 06/11/86, em 6 dos canos introduzidos em cada solo foi incorporado a 2,5 cm de profundidade uma quantidade de 1,0 g de Temik 150^R (150 g Aldicarbe/kg), equivalente a 150 mg de aldicarbe. Nos 6 canos restantes em cada solo, foi aplicado na mesma data e profundidade uma quantidade de 2 g de Standak 5 G^R (50 g Sulfona de Aldicarbe/kg) equivalentes a 100 mg de sulfona de aldicarbe. Nota-se que o ingrediente ativo da formulação

Standak 5 G^R é sulfona de aldicarbe, o qual é um produto de oxidação do aldicarbe. Tal formulação está em fase de testes e ainda não é comercializada.

3.2. Coleta e Preparo das amostras de Solo

Os tubos foram retirados do solo com o auxílio de uma cavadeira manual; o solo ao redor dos canos foi escavado e estes foram cuidadosamente retirados de maneira a não danificar a estrutura do solo ali contido. As coletas foram feitas aos 12, 26, 42, 67, 91 e 140 dias após a aplicação dos produtos. Em cada data de amostragem foram retirados 2 tubos de cada solo, um contendo solo tratado com Temik e o outro com Standak. Com o auxílio de uma serra de arco os tubos foram divididos em dez partes iguais de 5 cm de comprimento. O solo foi retirado de cada segmento, colocado em saco plástico, homogeneizado e armazenado em um "Freezer" a uma temperatura de aproximadamente -15°C.

3.3. Extração e Determinação dos Inseticidas das Amostras

3.3.1. Solventes e Reagentes Utilizados

- Acetona P.A.
- Ácido Acético Glacial P.A.
- Peróxido de Hidrogênio 100 volumes
- Sulfato de Sódio Anidro P.A.
- Acetato de Etila P.A.

- Éter Etílico P.A.
- Sílica-Gel 60 GF₂₅₄ (gel fluorescente)

3.3.2. Extração dos Compostos

O método empregado para extração dos compostos foi baseado no utilizado por NICHOLLS et alii(33). Foram transferidas 50 g da amostra para um recipiente de vidro (diâmetro de 9 cm e altura de 14 cm) com tampa de vidro esmerilhada. Após a adição de 200 ml de acetona, os vidros foram submetidos a agitação por uma hora e meia em um agitador mecânico de mesa (150 rpm). Em seguida os vidros foram deixados em repouso por cerca de 1 hora e do líquido sobrenadante retirou-se de cada vidro uma alíquota de cerca de 30 ml, a qual foi mantida em "freezer" a uma temperatura de aproximadamente -15°C até o momento de ser analisada.

3.3.3. Determinação de Sulfona de Aldicarbe nas Amostras de Solo Tratado com Standak 5 G^R

A determinação de sulfona de aldicarbe nos extratos provenientes dessas amostras foi feita por cromatografia a gás, injetando-se alíquotas (5µl do extrato no cromatógrafo). Os detalhes das análises por cromatografia a gás são apresentados no item 3.3.7. Uma vez que a possível presença de nitrilo de sulfona de aldicarbe nos extratos interfere na análise de sulfona de aldicarbe por cromatografia a gás, conforme Knaak et alii(1966), citados por BROMLOW

& LORD (10), os extratos provenientes de algumas amostras foram submetidos à cromatografia de camada delgada, com a finalidade de comprovar a identificação do sulfona de aldicarbe nas amostras. Para tanto, uma alíquota de 10 ml do extrato foi transferida para um balão de fundo redondo e evaporada em rotavapor. Em seguida transferiu-se os resíduos do balão para uma placa de cromatografia de camada delgada. Os detalhes das análises por cromatografia de camada delgada são descritos no item 3.3.6.

O solo amostrado aos 140 dias após a aplicação do Standak 5G^R não teve sua análise efetuada uma vez que os resíduos de sulfona de aldicarbe encontrados nas amostras coletadas aos 91 dias após a aplicação do produto foram muito baixos.

3.3.4. Determinação de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe nas Amostras de Solo Tratado com Temik 150^R

A partir do extrato obtido da amostra de solo tratado com Temik 150^R foi tomada uma alíquota de 10 ml, a qual foi colocada dentro de um balão de fundo redondo. Em seguida, a acetona foi evaporada até secura em rotavapor. Os resíduos foram então transferidos para uma placa de camada fina contendo sílica-gel, com a finalidade de separar o aldicarbe de seus produtos de oxidação, sulfóxido e sulfona de aldicarbe. Detalhes sobre a separação e identificação dos compostos por cromatografia de camada delgada são apresentados no item 3.3.6.

Após a separação dos produtos na placa, a banda de sílica contendo cada composto foi raspada da placa e colocada em um funil de vidro contendo algodão no fundo e suspenso sobre um balão de fundo redondo. Os resíduos foram então lavados da sílica com 5 porções de 5 ml de acetona.

Uma vez que o detector fotométrico de chama do cromatógrafo a gás não é sensível ao aldicarbe e nem ao sulfóxido de aldicarbe, houve necessidade de se proceder a oxidação destes compostos a sulfona de aldicarbe. Para tanto, após a separação em cromatografia de camada delgada e evaporação da acetona, adicionou-se ao balão de fundo redondo 10 ml de uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio 100 volumes em acetato de etila. O ácido acético e o peróxido de hidrogênio foram utilizados na proporção de 19,2 ml para 51,5 ml respectivamente, essa mistura sendo em seguida diluída em acetato de etila na proporção de 1:20. Após um período de aproximadamente 3 horas o excesso de oxidante foi eliminado em rotavapor até secura. O produto oxidado contido no balão foi transferido em 4 porções de 1 ml de acetona para um tubo graduado, tendo o volume final sido completado para 10 ml. Em seguida, o tubo foi guardado em "freezer" até o momento da análise por cromatografia a gás, quando então procedeu-se a diluição ou concentração apropriada ou manteve-se o volume inicial conforme necessidade.

NOTA: Observou-se inicialmente que um pequeno volume da solução oxidante permanecia no fundo do balão após evaporação no rotavapor. Esse volume, uma vez transferido juntamente com os resíduos para o tubo graduado, interferia na quantificação

dos resíduos, tornando a recuperação muito baixa. Desta maneira, após constatação desta interferência, o oxidante passou a ser completamente eliminado do balão, ainda no rotavapor, após a evaporação do acetato de etila.

Os compostos, quantificados pelo cromatógrafo a gás na forma de sulfona de aldicarbe, tiveram seus valores corrigidos para as formas originais. As conversões foram feitas partindo-se da relação existente entre os pesos moleculares dos compostos. Assim para converter os valores de sulfona de aldicarbe a sulfóxido de aldicarbe dividia-se o valor obtido inicialmente por 1,08; e para converter os valores de sulfona de aldicarbe a aldicarbe dividia-se o valor obtido inicialmente por 1,17.

Por razões de ordem econômica as determinações dos resíduos de aldicarbe, sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe nas amostras de solo Podzólico Vermelho-Amarelo tratadas com Temik 150^R foram feitas sob a forma de resíduos tóxicos totais (aldicarbe mais sulfóxido de aldicarbe mais sulfona de aldicarbe). Após o processo de extração (descrito no item 3.3.2.), uma alíquota de 10 ml do extrato foi colocada dentro de um balão de fundo redondo e em seguida foi evaporada em rotavapor até eliminação completa da acetona e da água proveniente do solo. Os resíduos contidos no balão foram totalmente oxidados a sulfona de aldicarbe conforme processo descrito anteriormente, omitindo-se o processo de separação dos compostos por cromatografia em camada delgada. Após elimi

nação completa do oxidante, o produto final da oxidação, contido no balão, foi transferido em acetona para o tubo graduado e o seu volume completado para 5 ml. Em seguida, os tubos graduados contendo as soluções foram guardados em "freezer" a uma temperatura de aproximadamente -15°C até o momento de serem injetadas no cromatógrafo a gás.

3.3.5. Testes de Recuperação de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe em Amostras de Solo.

Foram realizados testes para determinar a porcentagem de recuperação de aldicarbe, sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe em amostras de solo que receberam a adição de quantidade conhecida de cada composto. Os compostos foram diluídos em acetona em concentração tal que a adição de 1 ml de solução resultou na concentração de $100\ \mu\text{g}/50\ \text{g}$ de solo. Três amostras foram fortificadas e analisadas para cada composto. Os padrões de aldicarbe e sulfona de aldicarbe utilizados nesse teste foram obtidos junto à Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e tinham especificação de pureza acima de 99%*. As amostras fortificadas foram submetidas a extração conforme descrito anteriormente (ítem 3.3.2.). Após a extração e subsequente decantação das partículas do solo, retirou-se uma alíquota de 10 ml do sobrenadante, a qual foi transferida para um balão de fundo redondo e depois evaporada em rotavapor até seca. Os resíduos do balão foram submetidos à cromatografia de camada delgada (ítem 3.3.6.) antes da determinação por cromatografia a

gás (ítem 3.3.7.).

* O padrão de sulfóxido de aldicarbe recebido dessa Agência revelou um alto teor de sulfona de aldicarbe, indicando intensa oxidação durante o transporte. Assim, em substituição a esse padrão utilizou-se sulfóxido de aldicarbe formado nas colunas de solo que receberam aplicação de aldicarbe. O sulfóxido de aldicarbe foi isolado por cromatografia de camada delgada e quantificado por cromatografia a gás.

3.3.6. Cromatografia de Camada Delgada

A separação e identificação de aldicarbe e de seus metabólitos sulfóxido e sulfona foi feita por cromatografia de camada delgada, utilizando a metodologia descrita por BROMILOW & LEISTRA (9).

Após a evaporação da acetona no rotavapor, os resíduos foram transferidos para placas de cromatografia (20 x 5 cm) contendo uma camada de 0,5 mm de sílica-gel 60 GF₂₅₄ (gel fluorescente). Os resíduos foram transferidos com auxílio de uma pipeta de Pasteur, usando-se 4 lavagens do balão de fundo redondo com 0,25 ml de acetona. Os resíduos foram transferidos ao longo de uma linha próxima à base da placa, a qual foi em seguida colocada numa cuba de vidro com tampa, contendo uma solução eluente composta de éter etílico e acetona na proporção de 4:1.

A identificação de aldicarbe nas placas foi feita sob luz ultravioleta, quando o composto aparece na placa como uma mancha a

zul. A concentração de aldicarbe nas amostras era insuficiente para visualização e portanto, antes da eluição, um alíquota de uma solução de aldicarbe foi colocada nas margens da placa, na altura da linha da amostra, evitando-se a contaminação da amostra através de linhas verticais divisórias. Sulfóxido e sulfona de aldicarbe não são visíveis sob luz ultravioleta. Sulfona de aldicarbe foi então localizado na placa usando-se o composto oxamyl, o qual é visível sob luz ultravioleta e revelou ter praticamente o mesmo fator de retenção que sulfona de aldicarbe, conforme comprovado experimentalmente. Os fatores de retenção obtidos foram os seguintes: 0,66; 0,38; 0,34 e 0,05 respectivamente para aldicarbe, Sulfona de aldicarbe, oxamyl e sulfóxido de aldicarbe, fatores esses muito próximos aqueles descritos por BROMILOW & LORD (10). A determinação do fator de retenção de sulfona de aldicarbe e sulfóxido de aldicarbe foi feita eluindo-se os compostos na placa e em seguida procedendo-se a oxidação e determinação por cromatografia gasosa dos compostos extraídos de bandas de sílica coletadas separadamente a cada 1 cm.

Após a eluição dos resíduos provenientes das amostras de solo, retirou-se uma banda de sílica de ± 2 cm para cada um dos compostos, sendo que para sulfóxido de aldicarbe foi tomada a banda correspondente à linha de aplicação da amostra.

3.3.7. Quantificação dos Compostos por Cromatografia em Fase Gasosa

O cromatógrafo a gás utilizado foi um modelo CG-370 fabricado pela CG Equipamentos Científicos Ltda., adaptado com Detector

Fotométrico de Chama, operando com filtro de enxofre (394 nm). Utilizou-se uma coluna de vidro de 1,8 m de comprimento e diâmetro interno de 1/8'', com enchimento de SP 1000 (5%) em Supelcoport 100/120. A taxa de fluxo do gás de arraste (nitrogênio) foi de 64 ml/min; a temperatura de trabalho da coluna, do vaporizador e do detector foram de 178°C, 184°C e 208°C respectivamente, e sob estas condições o tempo de retenção para sulfona de aldicarbe foi de 3 minutos e 27 segundos. O sinal do fotomultiplicador foi registrado em cromatogramas no registrador, sendo que a amplificação do sinal foi variada conforme a sensibilidade do aparelho. Como gases auxiliares, para a chama, foram utilizados o hidrogênio, com um fluxo de 136 ml/min e o ar sintético, com fluxo de 166 ml/min. As injeções foram feitas com o auxílio de uma microseringa com capacidade para 10 µl.

A quantificação de sulfona de aldicarbe nas amostras foi feita comparando-se a altura do pico nas amostras com a curva de calibração obtida injetando-se soluções padrão. A curva de calibração foi obtida injetando-se quantidades de sulfona de aldicarbe variando entre 1 e 20 ng, tanto as soluções padrão quanto as amostras foram apropriadamente diluídas ou concentradas, com o volume injetado das amostras e dos padrões ficando sempre na faixa de 4 a 6 µl. O padrão analítico utilizado foi conseguido junto a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e tinha especificação de pureza superior a 99%.

A metodologia empregada permitiu a quantificação dos resíduos nas amostras de solo até o limite mínimo de detecção equivalente a 0,8 µg/g de solo, tanto para aldicarbe quanto para seus metabólitos.

3.4. Determinação do Grau de Umidade do Solo

O grau de umidade do solo foi determinado por gravimetria. De cada segmento foram retiradas 20 g de solo, que foram colocadas em um cadinho previamente tarado e levado à estufa a uma temperatura de 105°C, onde permaneceram por 3 horas. Ao final deste tempo o cadinho com o solo seco foi pesado em balança de semiprecisão, e a diferença de peso foi considerada equivalente à quantidade de água contida no solo.

3.5. Determinação de Permeabilidade do Solo

Material utilizado: cilindros de alumínio com 8,2 cm de altura e 4,73 cm de diâmetro útil; um amostrador, adaptado com um bate-estacas; um permeâmetro; uma proveta graduada de 100 ml; uma bandeja de plástico; um reservatório de 5 litros para água destilada; um cronômetro; atadura de gaze e sacos plásticos.

Metodologia:

- Foi utilizado o método do permeâmetro de carga constante descrito por MILLAR (32) e adaptado por LIMA (30).

Com auxílio do amostrador e dos cilindros de alumínio, coletou-se para cada solo 3 amostras representativas da superfície e 3 a 50 cm de profundidade. Os cilindros contendo as amostras foram levados ao laboratório, com as extremidades envoltas em atadura de gaze e colocados dentro de uma bandeja de plástico contendo água destilada, de maneira que o solo de dentro do cilindro fosse

saturado com água.

O procedimento para a determinação da permeabilidade dos solos, consistiu em medir o fluxo de água nas amostras de solo quando mantidas em posição vertical e com uma carga constante de água.

Os valores de permeabilidade foram calculados utilizando-se a seguinte fórmula:

$$K = \frac{V \cdot H}{A \cdot L \cdot t} , \text{ citada por STANCATI et alii (35)}$$

onde:

K = permeabilidade em cm/h

V = Volume de água percolado em determinado tempo em cm³

H = altura do corpo de prova (solo contido no cilindro de alumínio).

A = área útil do corpo de prova em cm²

L = altura da carga, constante durante o ensaio, em cm

t = tempo percorrido, para percolar no volume V, em h

Os valores finais são médias das três repetições.

3.6. Determinação do Carbono Orgânico nas Amostras de Solo.

O teor de carbono orgânico foi determinado para os dois solos, e as amostras foram coletadas no dia 01/10/87 a cada 5 cm até 50 cm de profundidade. Foi aberta uma trincheira no solo, com aproximadamente 60 cm de profundidade e as amostras foram coletadas com o auxílio de uma colher de jardineiro, acondicionados em sacos plás-

ticos, devidamente identificadas e enviadas para análise no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras. O método utilizado para análise foi o de combustão via úmida, com ácido crômico 0,4 N adaptado do método de Tiurim citado por VETTORI (37).

3.7. Dados Climatológicos

Os dados climatológicos foram obtidos junto à Estação Agroclimática da Escola Superior de Agricultura de Lavras, a qual está situada a 1 km da área experimental onde foram aplicados os produtos sobre o Latossolo Roxo e a aproximadamente 500 m da área experimental onde foram aplicados os produtos sobre o solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Estes dados são encontrados nos Quadros 10 e 11, no Apêndice.

Por ocasião da aplicação dos produtos em 06/11/86, os solos apresentavam-se relativamente úmidos pois, conforme se observa pelos dados climatológicos mostrados nos Quadros 10 e 11 (Apêndice), ocorreram chuvas nos dias que antecederam a aplicação.

Entre a data de aplicação dos produtos e a primeira data de coleta das colunas de solo (após 12 dias), o total de precipitação, foi 48,1 mm, com as chuvas concentrando-se entre o 5º e o 6º dias após a aplicação (2a. data de amostragem), a precipitação total foi 98,4 mm, com as chuvas distribuindo-se de forma mais ou menos uniforme nesse período. Entre os 26 e 42 dias (3a. data de amostragem), a precipitação total foi 111,7 mm. Entre os 42 e 67 dias (4a. data de amostragem) houve maior intensidade de precipitação, totali

zando 407,9 mm nesse período. Entre os 67 e 91 dias (5a. data de amostragem), o total foi 170,4 mm e no último período, entre 91 e 140 dias após a aplicação, a precipitação total foi 312,6 mm

Os dados de temperatura em diferentes profundidades do solo na Estação Agroclimatológica da ESAL são apresentados no Quadro 11 (Apêndice). Os valores mais elevados ocorreram geralmente no período de menor precipitação pluviométrica. No dia da aplicação dos produtos, a temperatura do solo a 2 cm (próximo à profundidade de aplicação) foi de 32°C, tendo chegado a 45,2°C quatro dias após.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Recuperação de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe em Amostras de Solo.

Os resultados dos testes de recuperação para aldicarbe, sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe são apresentados no Quadro 1.

QUADRO 1 - Porcentagem de recuperação de aldicarbe, sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe em amostras de solo. ESAL, Lavras, 1989.

% de Recuperação				
Repetição Compostos	I	II	III	Média
Aldicarbe	89,0	90,0	81,4	86,8
Sulfóxido de Aldicarbe	87,5	92,6	71,4	83,8
Sulfona de Aldicarbe	97,0	99,0	98,0	98,0

Esses resultados mostram a recuperação dos compostos em amostras de solo, cujos extratos em acetona foram submetidos a cromatografia de camada delgada antes da determinação quantitativa por

cromatografia de fase gasosa. A recuperação de sulfona de aldicarbe em amostras fortificadas, cujos extratos foram diretamente analisados por cromatografia gasosa, foi 95% (média de três repetições). Os resultados de recuperação indicam que a metodologia desenvolvida por BROMILOW et alii (8) e utilizada no presente trabalho foi bastante eficiente na determinação dos compostos nas amostras de solo. Os resultados obtidos nas amostras de solo provenientes dos experimentos de campo não foram corrigidos pelos valores de porcentagem de recuperação obtido.

4.2. Permeabilidade dos Solos

Os testes de permeabilidade foram realizados com a finalidade de auxiliar a interpretação dos resultados. Os valores obtidos para os dois solos estudados são apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2 - Valores de permeabilidade para os solos Latossolo Roxo (LR) e Podzólico Vermelho-Amarelo (PV). Os valores representam médias de 3 repetições. ESAL, Lavras, 1989.

Permeabilidade		
Solo	LR	PV
Profundidade (cm)		
0 - 10	27,6	16,9
40 - 50	51,7	23,6

Observa-se que os valores de permeabilidade para o Latossolo Roxo são superiores aqueles obtidos para o solo Podzólico

Vermelho-Amarelo, especialmente quando se compara os valores obtidos a 50 cm de profundidade.

A estrutura mais arredondada e de menor tamanho observada no Latossolo Roxo resulta numa maior macroporosidade, o que explica, sua maior permeabilidade (LIMA, 30).

4.3. Teores de Carbono Orgânico dos Solos

O Quadro 3 apresenta os teores de Carbono orgânico para os solos Latossolo Roxo (LR) e Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), em diferentes profundidades.

Observa-se que o teor de carbono orgânico é consistentemente maior no Podzólico Vermelho-Amarelo, sendo esperado portanto, menor movimento de pesticidas menos polares nesses solos.

QUADRO 3 - Teores de Carbono Orgânico em diferentes profundidades do solo. ESAL, Lavras-MG, 1989.

Profundidade (cm)	Carbono Orgânico (%)	
	LR	PV
0 - 5	2,72	3,19
5 - 10	2,71	2,72
10 - 15	2,48	2,48
15 - 20	2,36	2,37
20 - 25	1,89	2,36
25 - 30	1,88	2,24
30 - 35	1,87	2,00
35 - 40	1,86	1,89
40 - 45	1,77	1,88
45 - 50	1,53	1,87

4.4. Movimento e Degradação de Sulfona de Aldicarbe nos Solos após Aplicação de Standak 5G^R.

4.4.1. Latossolo Roxo

As quantidades de sulfona de aldicarbe encontradas a diferentes profundidades do Latossolo Roxo, na diferentes datas de amostragem, são apresentadas na Figura 2 (pág. 46) e Quadro 4 (Apêndice).

Aos 12 dias após a aplicação observou-se um movimento descendente de pequena quantidade de sulfona de aldicarbe até os 25 cm de profundidade. A maior quantidade do composto encontrava-se nos primeiros 5 cm de profundidade, provavelmente ainda retida nos grânulos de Standak 5G^R. A quantidade total de sulfona de aldicarbe encontrada na coluna de solo foi equivalente a apenas 55% do total aplicado, indicando uma rápida perda inicial do composto. Essa perda deve ter resultado de uma intensa degradação de sulfona de aldicarbe na região próxima à superfície do solo, onde a população microbiana é maior e a temperatura do solo é mais elevada, favorecendo a degradação biológica e/ou química de sulfona de aldicarbe, LIGHTFOOT et alii (29). Contudo, a rápida perda inicial de sulfona de aldicarbe pode ter sido, pelo menos parcialmente, devido a volatilização do composto. Tal mecanismo de perda já foi demonstrado para aldicarbe, BULL et alii (12) e pode ocorrer também para sulfona de aldicarbe, segundo BROMILOW et alii (8).

Aos 26 dias após a aplicação, observou-se o movimento descendente de uma apreciável quantidade de sulfona de aldicarbe até os 30 cm de profundidade, embora a maior quantidade do total encontrado na coluna (41,7% do total aplicado) ainda estivesse presente nos pri

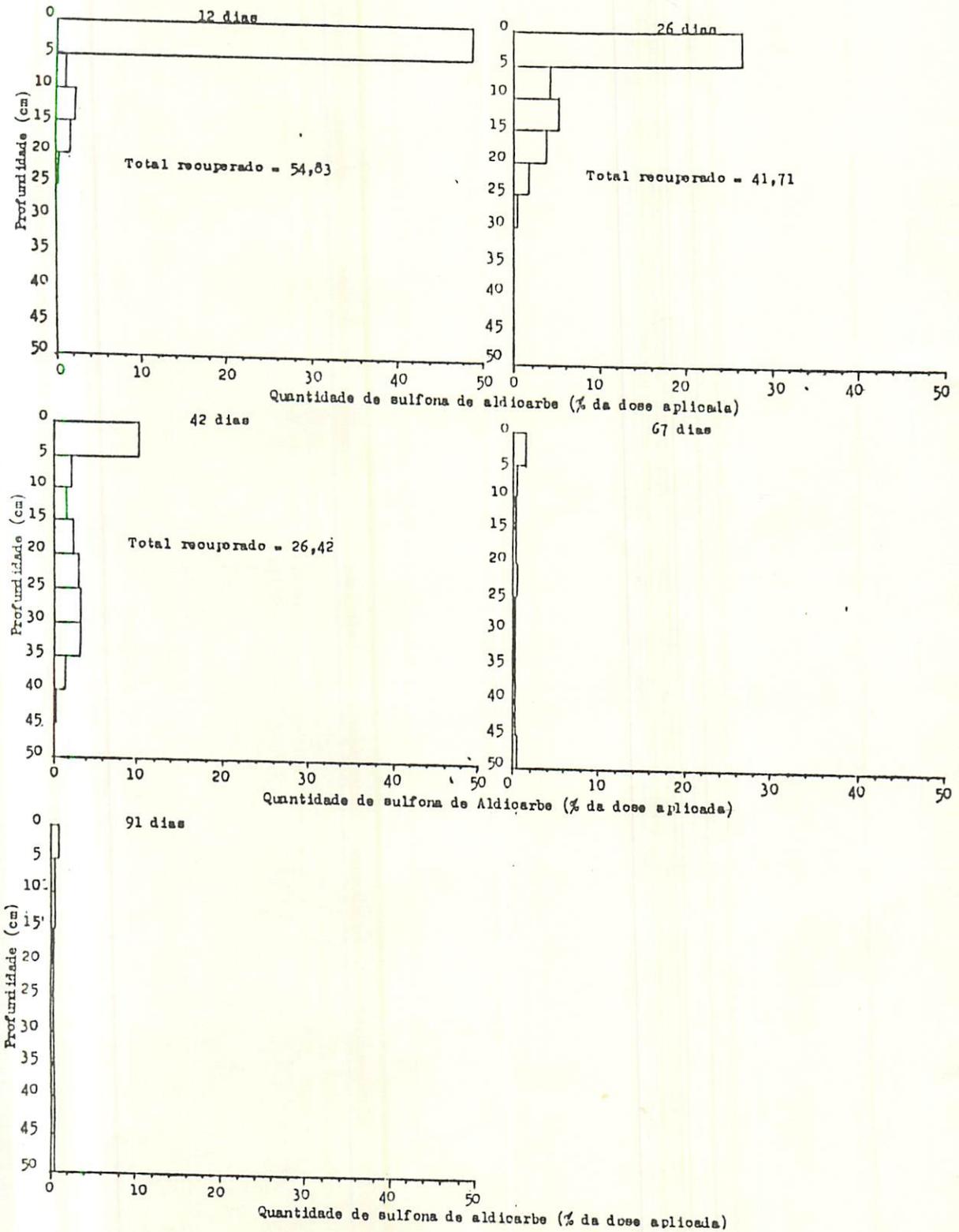


FIGURA 2 - Quantidades de Sulfona de Aldicarbe encontradas a diferentes profundidades nas colunas de latossolo Roxo nos diferentes intervalos de tempo após a aplicação de Standak 5G^R. ESAL, Lavras, 1989.

meiros 5 cm de profundidade.

Aos 42 dias após a aplicação, a quantidade de sulfona de aldicarbe encontrada abaixo dos 5 cm de profundidade foi maior que aquela encontrada até essa profundidade, com o composto tendo sido encontrado até os 45 cm de profundidade. O total de sulfona de aldicarbe encontrado aos 42 dias após a aplicação foi equivalente a apenas 26,4% da quantidade total aplicada.

Aos 67 dias após a aplicação, a quantidade de sulfona de aldicarbe encontrada na coluna de solo foi muito baixa, devido em parte à contínua degradação do composto, mas também devido à lixiviação dos resíduos para além dos 50 cm de profundidade (Figura 2). Entre os 42 e 67 dias após a aplicação, houve a maior incidência de chuvas, totalizando 409,7 mm nesse período.

A quantidade de sulfona de aldicarbe na coluna de solo aos 91 dias após a aplicação foi mínima. As chuvas continuaram após essa data e a coluna de solo coletada aos 140 dias após a aplicação não foi analisada.

Os resultados anteriormente descritos acerca do movimento e degradação de sulfona de aldicarbe no Latossolo Roxo são bastante coerentes com os resultados obtidos por BROMILOW & LEISTRA (9) em solos da Inglaterra. Apesar das divergências de solo e clima, ambos os estudos mostraram uma apreciável lixiviação de sulfona de aldicarbe nos solos estudados, o que era esperado em função da alta polaridade do composto e conseqüentemente, dos baixos coeficientes de adsorção (K_d) em solos. Os resultados obtidos no presente trabalho revelaram uma re-

tenção de sulfona de aldicarbe nos primeiros 5 cm de solo, maior que aquela observada por BROMILOW & LEISTRA (9). Essa diferença é atribuída à retenção de sulfona de aldicarbe ainda nos grânulos de Standak 5G^R, uma vez que no trabalho conduzido por BROMILOW & LEISTRA (9), o composto puro foi dissolvido em 1 ml de acetona e aplicado no solo. Conforme mencionado anteriormente (ítem 2.3.), a liberação de aldicarbe dos grânulos de Temik 150^R é muito rápida em solos úmidos, mas, a formulação experimental de Standak 5G^R utilizada no presente trabalho foi preparada de forma tal que a liberação do composto dos grânulos é esperada ocorrer mais lentamente (comunicação pessoal do Dr. M.E. Zirakparvar - Gerente Internacional de Desenvolvimento de Produtos - Rhône-Poulenc).

4.4.2. Solo Podzólico Vermelho-Amarelo

As quantidades de sulfona de aldicarbe encontradas a diferentes profundidades do solo Podzólico Vermelho-Amarelo são apresentadas na Figura 3 (pág.49) e Quadro 5 (Apêndice).

A Figura 3 mostra que, à semelhança do que foi observado no Latossolo Roxo (Figura 2), a liberação de sulfona de aldicarbe dos grânulos de Standak 5G^R no solo Podzólico Vermelho-Amarelo foi gradativa e influenciada pela precipitação pluviométrica, uma vez que no período de maior precipitação (entre os 42 e os 67 dias após a aplicação) a quantidade de sulfona de aldicarbe nos primeiros 5 cm do solo decresceu consideravelmente.

Comparando-se as Figuras 2 e 3 observa-se que o movimento de sulfona de aldicarbe no solo Podzólico Vermelho-Amarelo foi seme-

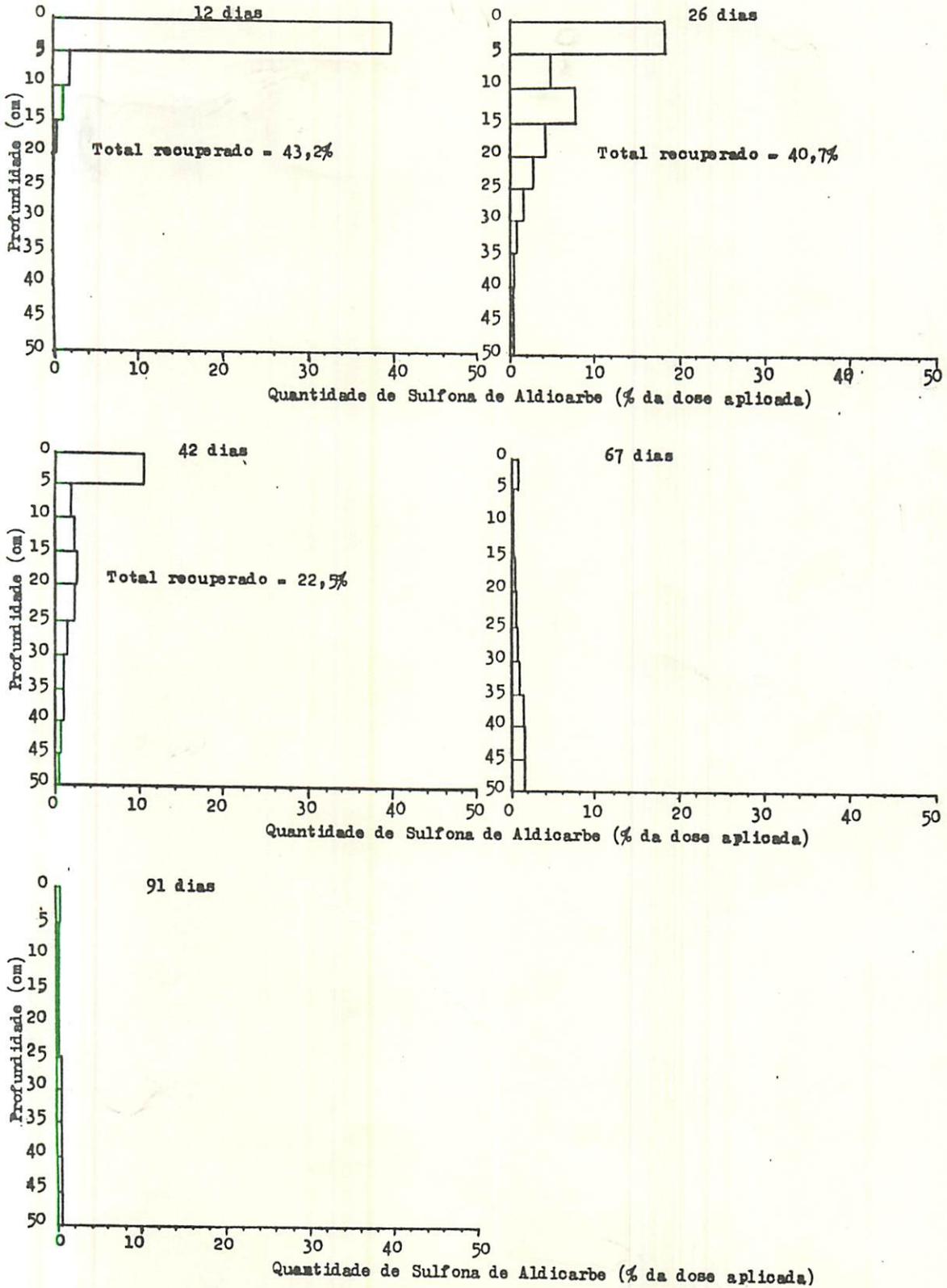


FIGURA 3 - Quantidade de Sulfona de Aldicarbe encontradas a diferentes profundidades nas colunas de solo Podzólico Vermelho-Amarelo nos diferentes intervalos de tempo após a aplicação de Standak 5G^R. ESAL - Lavras, 1989.

lhante àquele observado no Latossolo Roxo, com o composto tendendo a ser mais intensamente lixiviado no Latossolo Roxo, o que fica mais claro quando se compara a distribuição do composto nas colunas dos solos aos 42 e 67 dias após a aplicação. Conforme será discutido adiante (ítem 4.6.), a análise estatística dos resultados revelou um efeito significativo da classe de solo no movimento de sulfona de aldicarbe. O movimento ligeiramente maior de sulfona de aldicarbe no Latossolo Roxo deve ter resultado da sua maior permeabilidade e do seu menor teor de matéria orgânica.

O decréscimo na quantidade de sulfona de aldicarbe no solo Podzólico Vermelho-Amarelo também foi semelhante aquele observado para o Latossolo Roxo, com valores de meia vida em torno de 18 dias (Figura 4 (pág.51)). A análise estatística (ítem 4.6.) revelou que não houve influência da classe de solo no decréscimo da quantidade de sulfona de aldicarbe nas colunas de solo.

4.5. Movimento e Degradação de Aldicarbe nos Solos após a Aplicação de Temik 150^R.

4.5.1. Latossolo Roxo

As quantidades de resíduos tóxicos totais de aldicarbe (soma das quantidades de aldicarbe, sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe) encontradas a diferentes profundidades do solo, nas diferentes datas de amostragem, são apresentadas na Figura 5 (pág.52) e Quadro 7 (Apêndice). Aldicarbe e seus produtos de oxidação foram quantificados separadamente, mas, na Figura 6, as quantidades de sulfóxido de aldicarbe e de sulfona de aldicarbe foram convertidas em

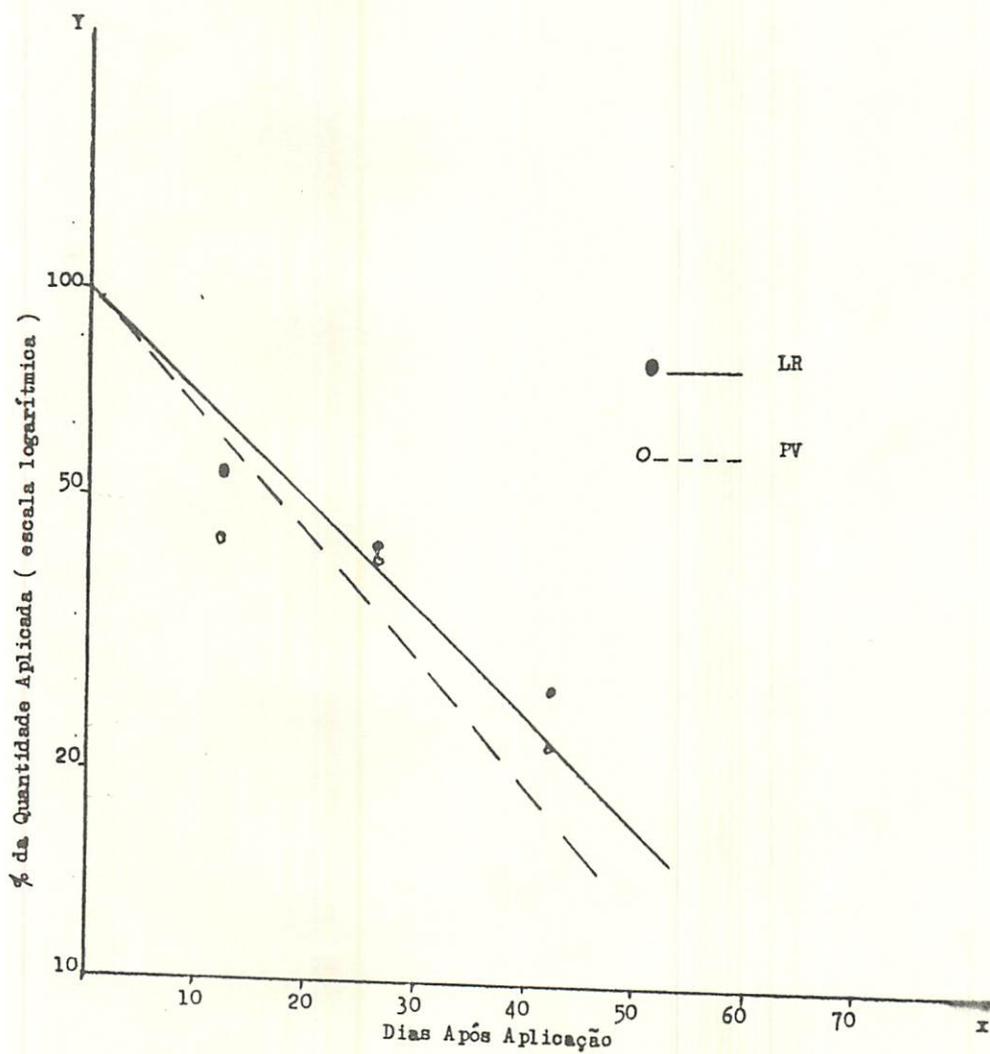


FIGURA 4 - Decréscimo na quantidade de resíduos de Sulfona de Aldicarbe nas colunas dos solos após a aplicação de Standak 5 G. ESAL, Lavras, 1989.

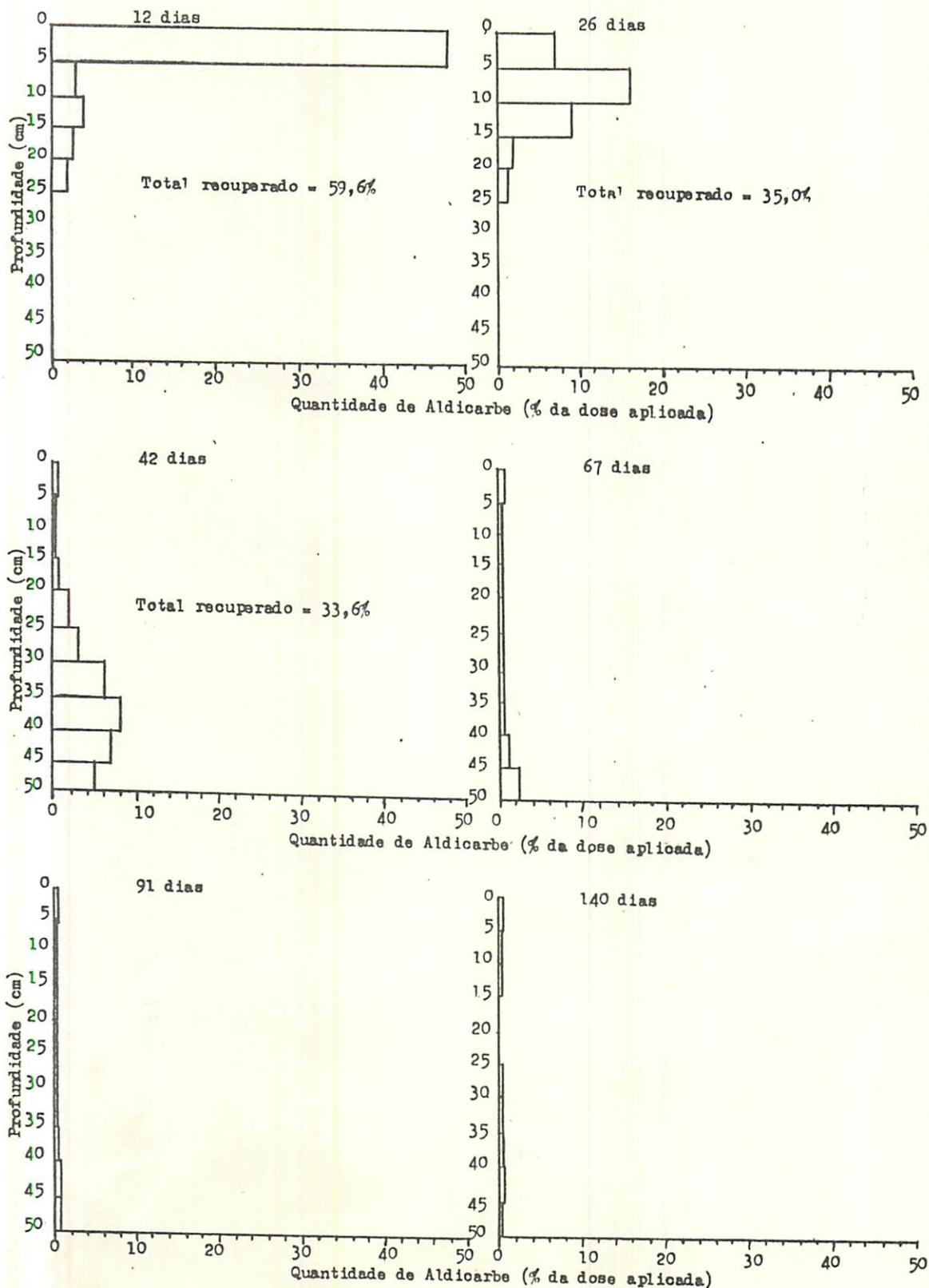


FIGURA 5 - Somatório das quantidades de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe encontradas a diferentes profundidades nas colunas do Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo após a aplicação de Temik 150^R. ESAL, Lavras, 1989.

quantidades equivalentes de aldicarbe e a somatória dos resíduos a cada profundidade foi expressa em termos de porcentagem da quantidade aplicada de aldicarbe.

Aos 12 dias após a aplicação, a quantidade de resíduos encontrada na coluna de solo foi equivalente a apenas 59,6% da quantidade aplicada, indicando a exemplo do observado após a aplicação de Standak 5G^R, uma rápida perda inicial dos resíduos. Nessa data, os resíduos foram encontrados predominantemente nos primeiros 5 cm de profundidade (80% do total encontrado naquela coluna), sendo que o restante ficou distribuído entre os 5 e 25 cm de profundidade (20 % do total).

Aos 26 dias após a aplicação, foi constatado que a maior parte dos resíduos foi encontrada abaixo dos 5 cm de profundidade. Essa distribuição foi muito diferente daquela observada aos 26 dias após a aplicação de Standak 5G^R, onde os resíduos foram encontrados predominantemente nos primeiros 5 cm. Isso indica que a liberação de aldicarbe dos grânulos de Temik 150^R, é mais rápida que a liberação de sulfona de aldicarbe dos grânulos de Standak 5G^R. A rápida liberação de aldicarbe dos grânulos em solos úmidos já foi demonstrada por COPPEDGE et alii (13). No entanto, sulfona de aldicarbe é mais solúvel em água do que aldicarbe, WORTHING (38), e portanto a liberação de sulfona de aldicarbe dos grânulos era esperada ser tão ou mais rápida do que a liberação de aldicarbe. Contudo, conforme mencionado anteriormente, a formulação experimental Standak 5G^R foi preparada de tal forma que a liberação de sulfona de aldicarbe

dos grânulos é esperada ocorrer lentamente (Dr. M.R. Zirakparvar - Rhône Poulenc, comunicação pessoal). A razão disso é que na formulação de Temik 150^R, os grânulos (de gesso) são recobertos com pequenos cristais de aldicarbe, juntamente com um agente de coesão. No caso de Standak 5G^R, os grânulos de gesso são colocados em um recipiente contendo sulfona de aldicarbe dissolvido em um solvente orgânico e como resultado o ingrediente ativo penetra o interior dos grânulos. Em ambos os casos, os grânulos são recobertos com uma camada de agente de fluidez. A presença de aldicarbe na superfície dos grânulos pode ser a razão da sua liberação mais rápida com relação à liberação de sulfona de aldicarbe dos grânulos de Standak.

Aos 42 dias após a aplicação, a maior parte dos resíduos foi encontrada abaixo dos 25 cm de profundidade, com o total encontrado na coluna de solo equivalente a apenas 33,6% da dose aplicada, devido à contínua degradação dos resíduos em compostos não carbamatos e devido ao movimento dos resíduos para além dos 50 cm (Figura 5). Entre os 42 e 67 dias após a aplicação houve um decréscimo muito acentuado na quantidade de resíduos nas colunas de solo, devido à contínua degradação mas também principalmente, devido à lixiviação dos resíduos para além dos 50 cm, uma vez que nesse período houve uma alta incidência de chuvas. Aos 91 e 140 dias após a aplicação, as quantidades de resíduos encontradas nas colunas de solo foram extremamente baixas.

No caso do Latossolo Roxo, as quantidades de aldicarbe,

sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe nas colunas de solo foram determinadas separadamente. As quantidades dos compostos nas colunas de solo, nas diferentes datas de amostragem são apresentadas na Figura 6. As quantidades dos compostos encontradas a diferentes profundidades do solo, nas diferentes datas de amostragem, são apresentadas na Figura 6 e Quadro 7 (Apêndice). As quantidades de sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe foram convertidas para quantidades equivalentes de aldicarbe e expressas em termos de porcentagem da dose aplicada.

A distribuição de aldicarbe e de seus metabólitos sulfóxido e sulfona nas colunas de solo (Figura 6) revela que tanto aldicarbe quanto os seus metabólitos foram lixiviados no solo. Embora seja difícil analisar o movimento dos compostos separadamente, devido a contínua oxidação de aldicarbe, pode-se notar que a taxa de movimento de sulfóxido de aldicarbe é maior que aquela de aldicarbe. Isso fica mais claro quando se examina a distribuição dos compostos aos 42 dias após a aplicação, quando as quantidades de aldicarbe foram maiores entre 35 e 40 cm, ao passo que as quantidades de sulfóxido de aldicarbe foram maiores entre 40 e 45 cm, com quantidades relativamente maiores desse metabólito tendo sido lixiviadas para além dos 50 cm (Figura 6). A maior taxa de movimento de sulfóxido de aldicarbe era esperada em função de sua maior polaridade (e consequentemente menor adsorção na matéria orgânica do solo) em relação a aldicarbe.

As quantidades totais de aldicarbe e de seus metabólitos encontrados nas colunas do Latossolo Roxo com o transcorrer do tempo são mostrados na Figura 7 (pág. 60). Observa-se que aos 12 dias após a aplicação, a maior parte dos resíduos foi identificada como aldicarbe, mas uma parte apreciável dos resíduos foi identificada como sulfóxido de aldicarbe. Nas datas subsequentes, as quantidades de sulfóxido de aldicarbe foram cada vez maiores e, aos 42 dias após a aplicação, a maior parte dos resíduos foi identificada como sulfóxido de aldicarbe. As quantidades de sulfona de aldicarbe permaneceram muito baixas no transcorrer do período. Esses resultados mostram que a oxidação de aldicarbe a sulfóxido (principalmente) e sulfona de aldicarbe, observada em solos da Inglaterra, BROMILOW et alii (8) e dos E.U.A. ANDRAWES et alii (1) e LIGHTFOOT et alii (29), também ocorre no Latossolo Roxo estudado no presente trabalho. Contudo a oxidação a sulfona de aldicarbe nesse solo aparentemente é menos favorecida em comparação com os solos da Inglaterra estudados por BROMILOW et alii (8). Esses autores observaram que, aos 12 dias após a aplicação, o composto original aldicarbe não foi mais detectado na coluna de solo e, aos 30 dias após, as quantidades de sulfóxido e sulfona de aldicarbe foram próximas, cada uma equivalente a 30% da dose aplicada. A menor taxa de oxidação de aldicarbe verificada no Latossolo Roxo estudado no presente trabalho deve-se possivelmente à menor atividade microbiana nesse solo em comparação com o solo da Inglaterra, cujo teor de matéria orgânica (6%) é bem superior aquele do Latossolo Roxo.

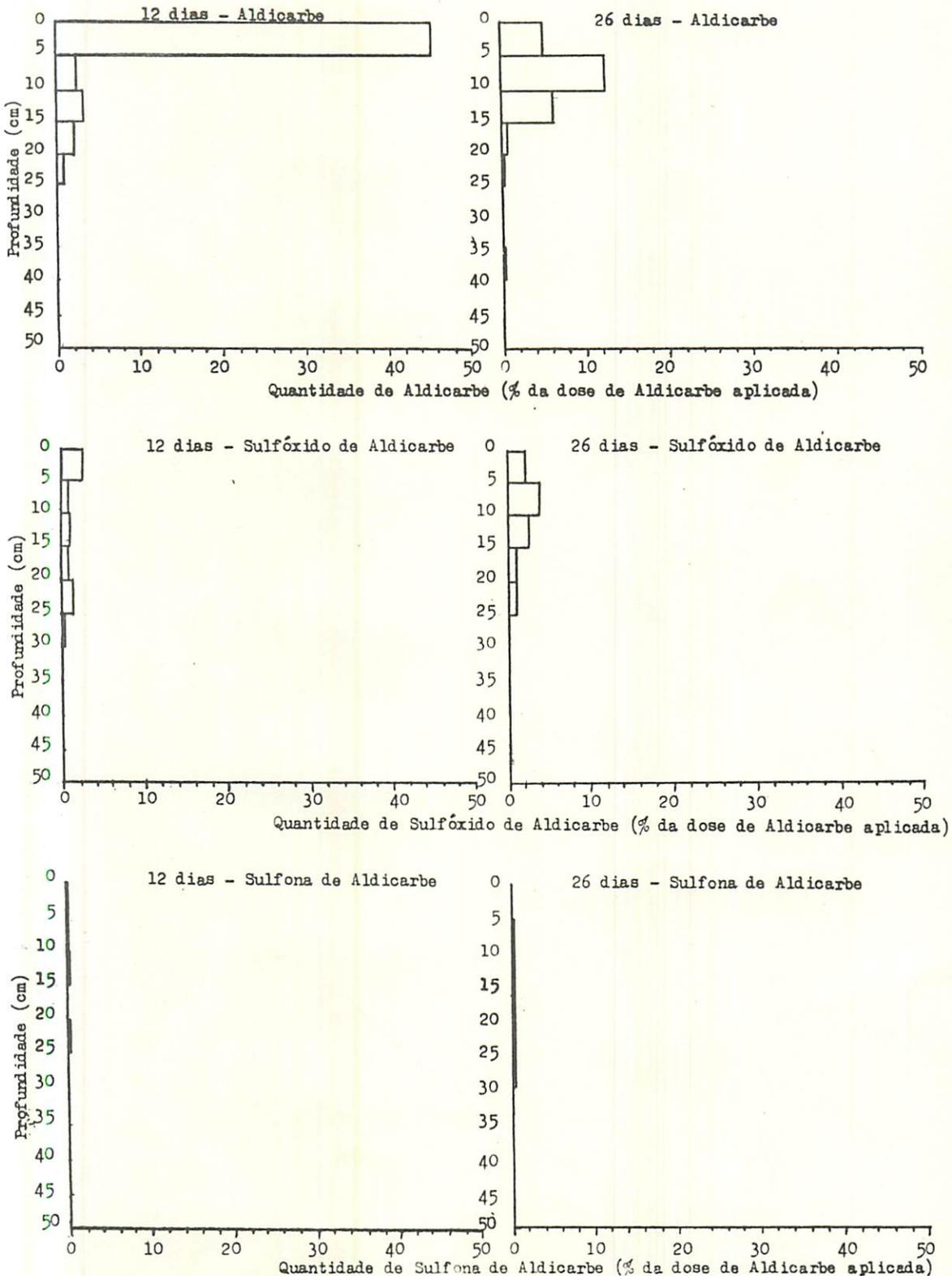


FIGURA 6 - Quantidades de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe contidos em diferentes profundidades nas colunas do Latossolo Roxo em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do Temik 150^R. ESAL, Lavras, 1989.

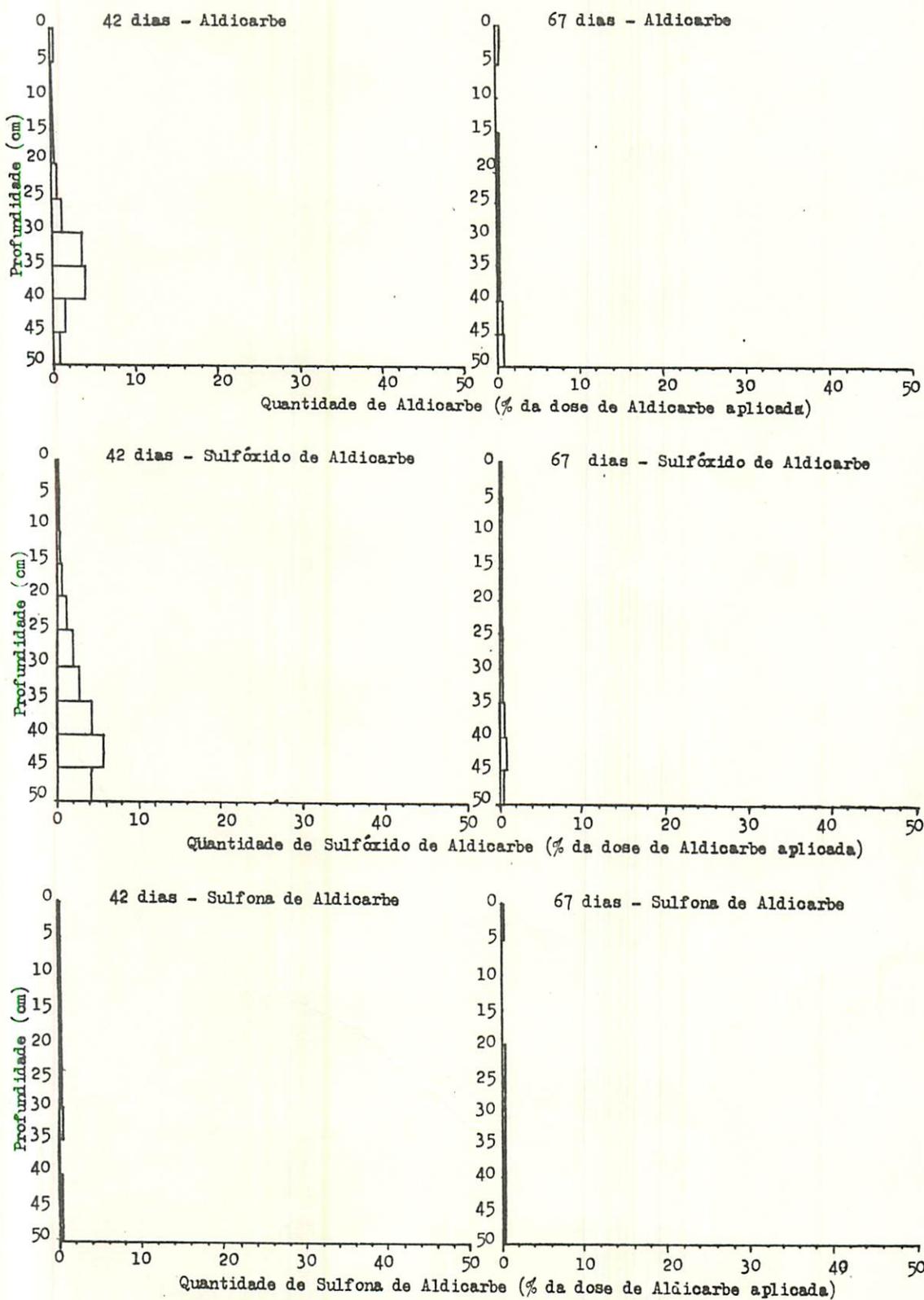


FIGURA 6 - Continuação

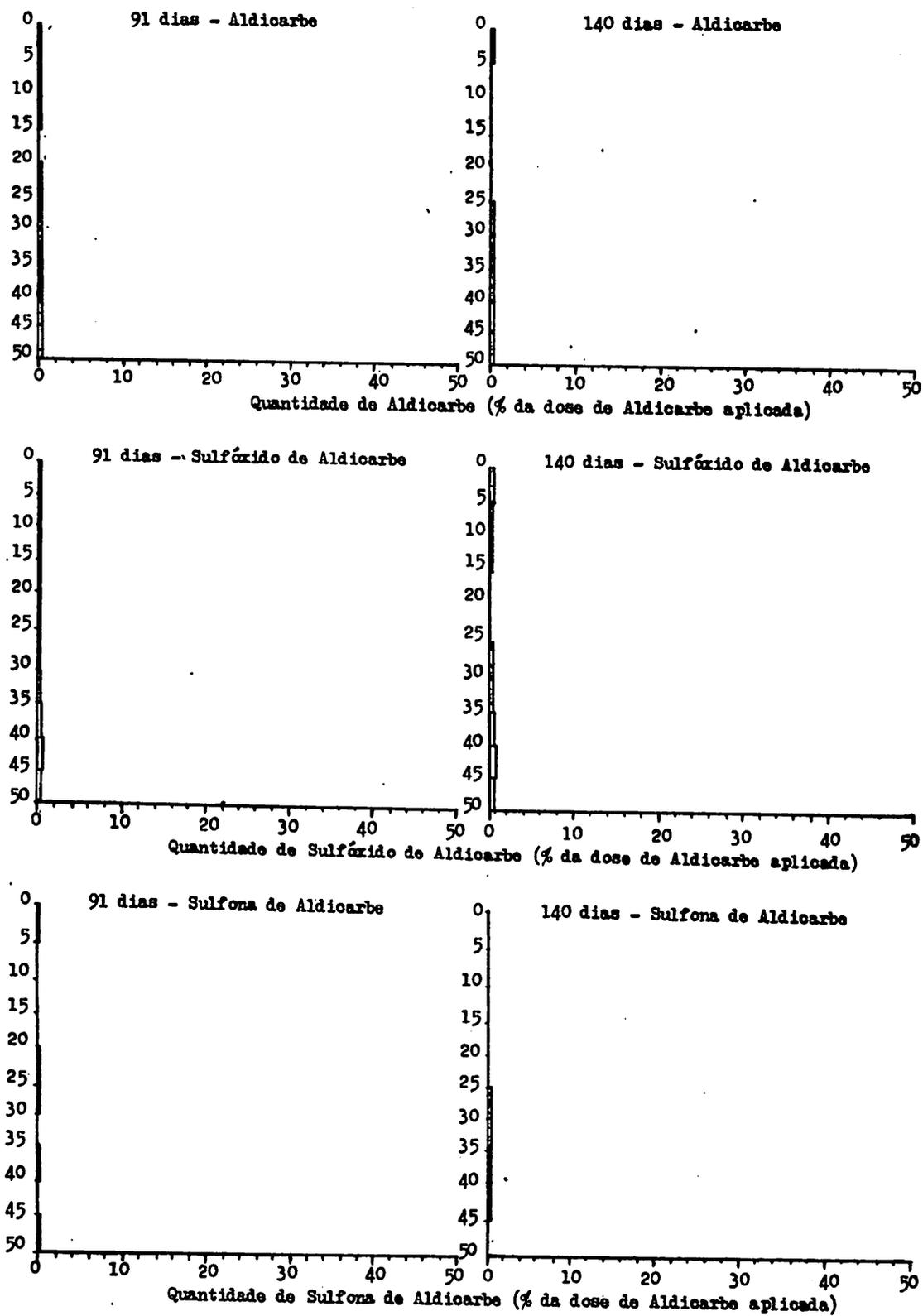


FIGURA. 6 - Continuação

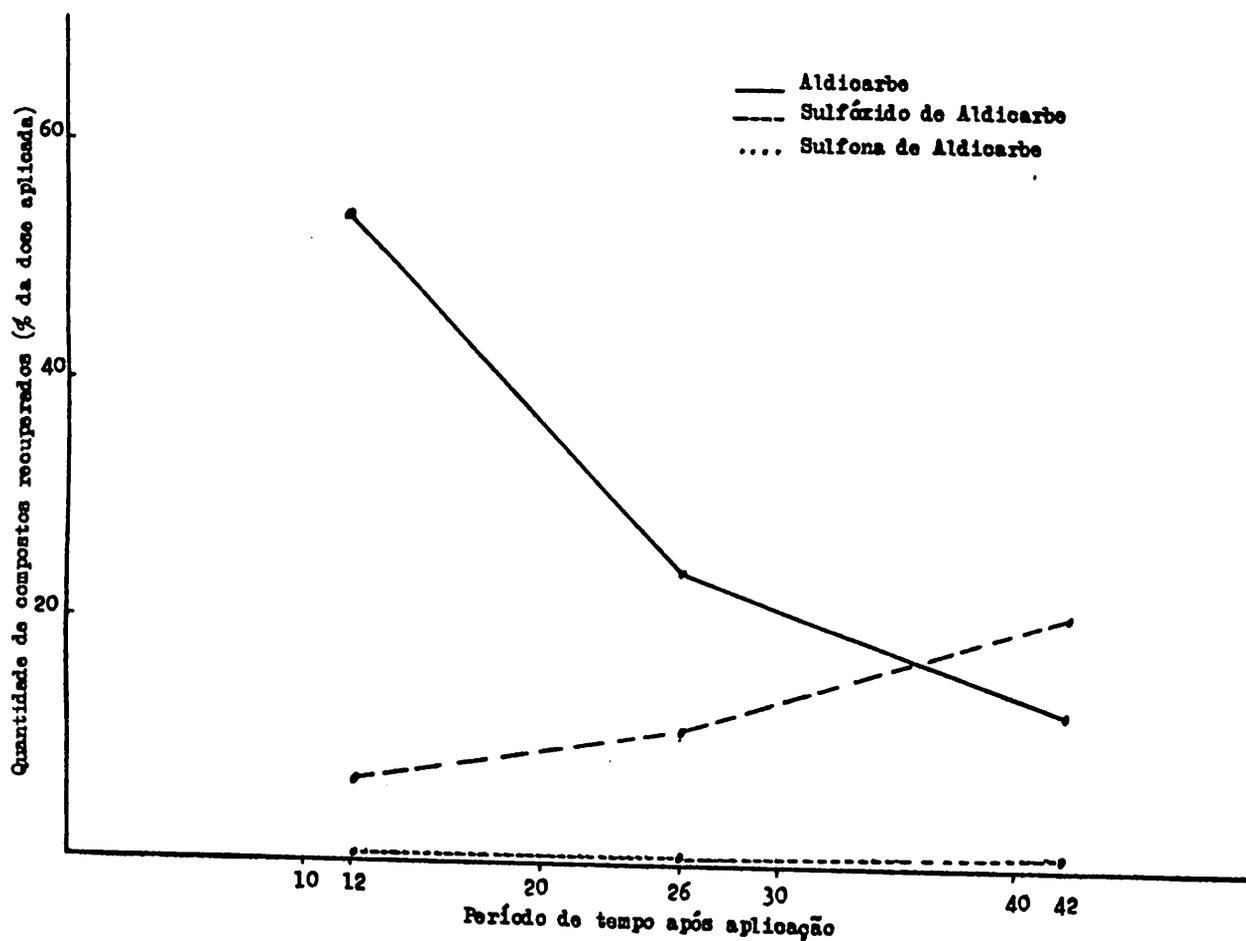


FIGURA 7 - Quantidades de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe nas colunas de Latossolo Roxo, em diferentes épocas após a aplicação de Temik 150^R. ESAL, Lavras, 1989.

4.5.2. Solo Podzólico Vermelho-Amarelo

As quantidades de resíduos tóxicos totais de aldicarbe (soma tória das quantidades de aldicarbe, sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe) encontradas a diferentes profundidades do solo Podzólico Vermelho-Amarelo, nas diferentes datas de amostragem, são apresentadas na Figura 8 (pág. 62) e Quadro 8 (Apêndice).

Os resultados acerca do movimento e degradação de aldicarbe no solo Podzólico Vermelho-Amarelo foram semelhantes aos observados no Latossolo Roxo (Figuras 5 e 6). Também nesse solo a liberação de aldicarbe dos grânulos de Temik 150^R foi relativamente rápida, com os resíduos de aldicarbe e seus metabólitos sendo intensamente lixiviados nas colunas de solo. Os valores de permeabilidade medidos para os dois solos revelaram uma condutividade menor para o Podzólico Vermelho-Amarelo (Quadro 2). Em vista disso, e uma vez que os teores de carbono orgânico são mais elevados no PV, a taxa de movimento dos resíduos era esperada ser menor neste solo. Isto fica confirmado quando se compara a distribuição dos resíduos nas colunas dos solos aos 42 dias após a aplicação, quando os resíduos concentravam-se mais próximos à superfície no caso do solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Conforme mencionado anteriormente, devido a restrições de natureza econômica, no caso do solo Podzólico Vermelho-Amarelo, as determinações de aldicarbe e de seus metabólitos sulfóxido e sulfona foram feitas de forma conjunta, o que impossibilitou uma comparação entre as taxas de oxidação de aldicarbe nos dois solos estudados.

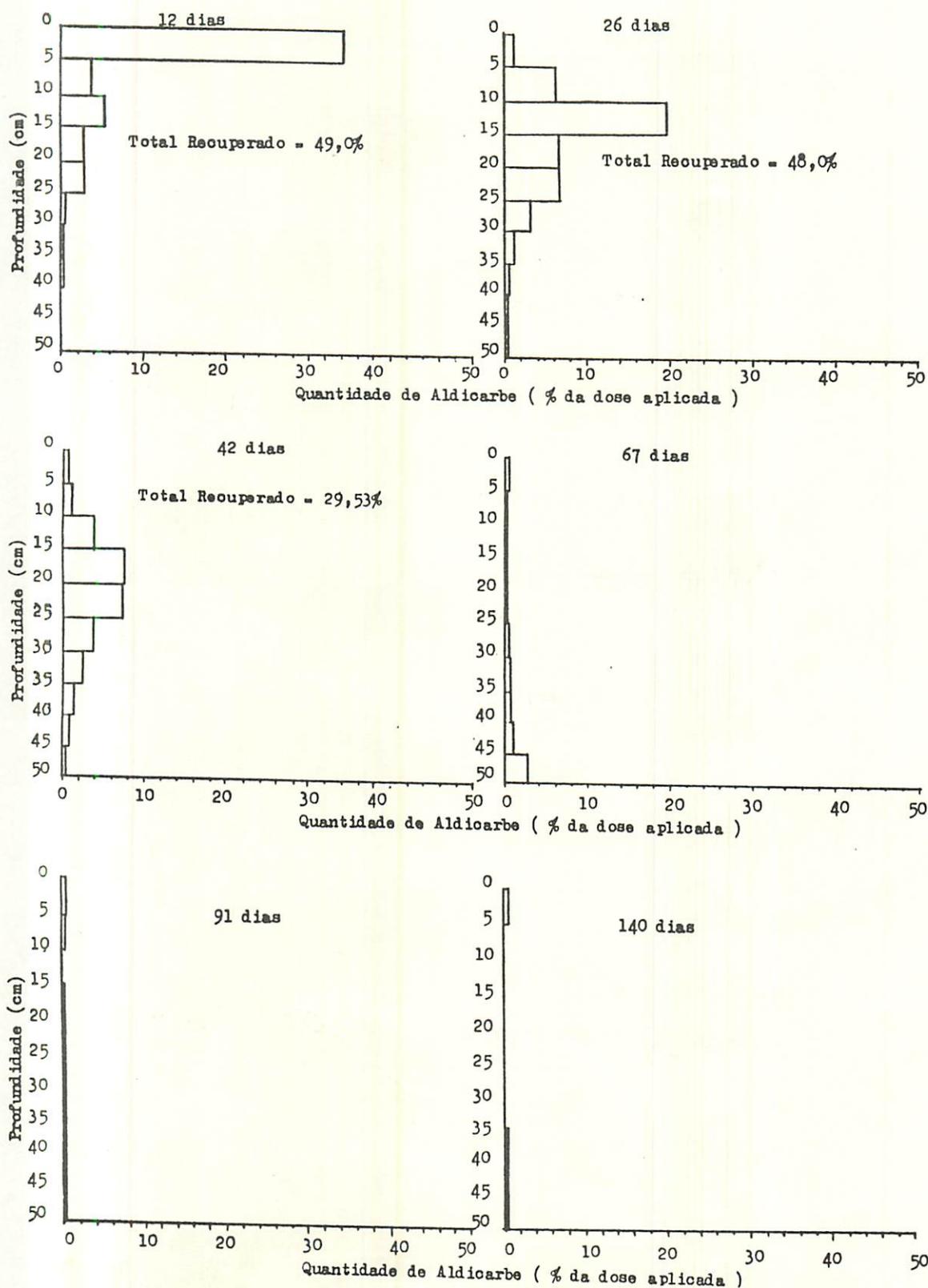


FIGURA 8 - Somatório das quantidades de Aldicarbe, Sulfóxido de Aldicarbe e Sulfona de Aldicarbe encontradas a diferentes profundidades nas colunas de solo Podzólico Vermelho-Amarelo em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do Temik 150^R. ESAL, Lavras, 1989.

A taxa de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos nas colunas do solo Podzólico Vermelho-Amarelo foi semelhante aquela observada para o Latossolo Roxo, com valores de meia-vida, em torno de 18 dias, Figura 9 (pág. 64).

4.6. Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi feita analisando-se conjuntamente os resultados obtidos para Standak 5G^R e Temik 150^R. A quantidade de resíduos a cada profundidade do solo, nas diferentes épocas após a aplicação, foi expressa em termos de porcentagem da dose aplicada. No caso do Temik 150^R, foi tomada a somatória dos resíduos de aldicarbe, sulfóxido de aldicarbe e sulfona de aldicarbe a cada profundidade.

Conforme se observa pela análise de variância dos resultados (Quadro 9), não houve significância na interação Solo x Inseticida (S x I), indicando que a somatória da quantidade de resíduos em todas as épocas e profundidades do solo foi semelhante para os dois inseticidas nas duas classes de solo. A interação Solo x Época (S x E) também não foi significativa, indicando que o decréscimo na quantidade de resíduos nas colunas de solo com o transcorrer do tempo foi semelhante para ambos os solos. A não significância na interação Inseticida x Época (I x E) indica que o decréscimo na quantidade de resíduos nas colunas de solo com o transcorrer do tempo foi semelhante para os dois inseticidas.

As interações envolvendo profundidade de solo (P) foram todas significativas, indicando que a distribuição dos resíduos no per

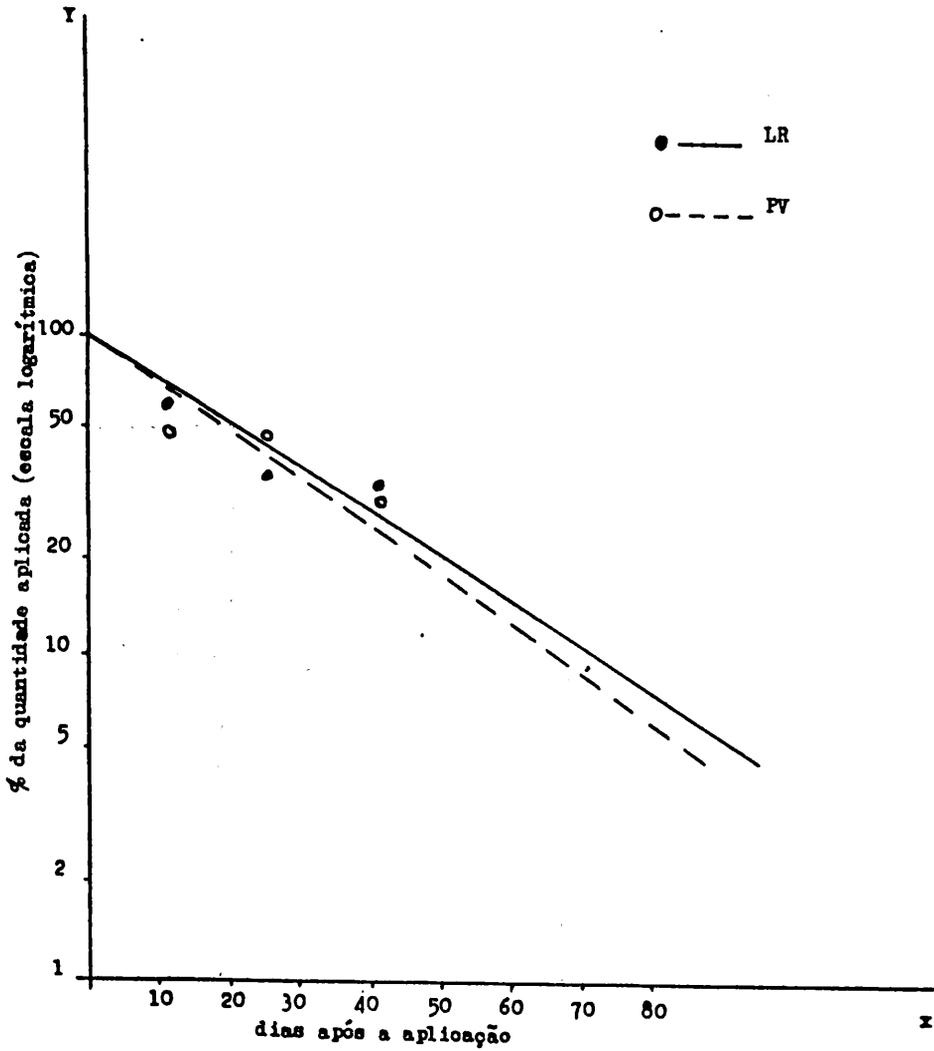


FIGURA 9 - Decréscimo na quantidade de resíduos tóxicos totais de Aldicarbe nas colunas dos solos após a aplicação de Temik 150^R. ESAL, Lavras, 1989.

fil do solo foi afetada pela classe de solo, época (ou intervalo desde a aplicação) e tipo de inseticida. O valor de F calculado para a interação Solo x Profundidade (S x P) foi pouco maior que o valor de tabela, o que está de acordo com a pequena variação entre os solos, no que diz respeito à distribuição de cada composto na coluna de solo. A significância da interação Época x Profundidade (E x P) é reflexo do movimento descendente dos compostos no perfil dos solos com o transcorrer do tempo. A significância da interação Inseticida x Profundidade (I x P) é reflexo da maior retenção de sulfona de aldicarbe nos primeiros 5 cm de solo em comparação com a retenção de aldicarbe. Conforme discutido anteriormente, essa maior retenção para sulfona de aldicarbe ocorreu devido à lenta liberação desse composto dos grânulos de Standa^R 5G^R.

4.7. Considerações Finais

O movimento de aldicarbe e de seus produtos de oxidação observado nas colunas de solo possivelmente seja mais intenso do que aquele esperado em condições de cultivo, uma vez que as plantas absorvem parte dos resíduos e a retirada de água do solo pelas plantas reduz a quantidade de água que percola o perfil do solo. No entanto, admitindo-se que o movimento dos resíduos em condições de cultivo seja semelhante em termos de tendência aquele observado nas colunas de solo, algumas considerações importantes podem ser feitas. Por exemplo, se uma aplicação de Temik 150^R tivesse sido feita numa lavoura no mesmo solo e época em que foi

conduzido o presente trabalho, então a absorção dos compostos pelas raízes a partir dos 42 dias após a aplicação seria muito limitada, uma vez que a partir dessa data, a concentração dos resíduos acima dos 20 cm de profundidade foi muito baixa e a parte do sistema radicular mais ativa em termos de absorção de água localiza-se nos primeiros 20 cm de profundidade. Por outro lado, o transporte observado de aldicarbe e de seus metabólitos até 50 cm de profundidade ou mais, pode ser vantajoso no que diz respeito ao controle de insetos e nematóides pragas das lavouras, os quais podem ser encontrados a profundidades superiores a 50 cm de solo, como por exemplo, as cigarras e os nematóides que atacam as raízes do cafeeiro.

Os resultados acerca do movimento e degradação de aldicarbe nos solos mostraram que uma fração da quantidade aplicada é lixiviada para além dos 50 cm de profundidade. O transporte dos resíduos para além dos 50 cm, em ambos os solos, ocorreu principalmente a partir dos 42 dias após a aplicação (Figuras 5 e 8). Devido à falta de conhecimentos sobre a taxa de degradação dos resíduos em diferentes profundidades do solo, não foi possível estimar adequadamente a quantidade de resíduos que foi lixiviada para além dos 50 cm. Conforme mencionado na revisão de literatura, a taxa de degradação de aldicarbe é menor em profundidades maiores devido a temperaturas mais baixas e menor atividade microbiana, JONES & BACK (23). Supondo-se que não houve degradação dos resíduos entre os 42 e 67 dias após a aplicação, a diferença entre os totais encontrados nessas épocas, ou seja, cerca de 25% da dose aplicada, po

de ser tomada como a fração que foi transportada para além dos 50 cm (Figuras 5 e 8 e Quadros 6 e 8 - Apêndice). Por outro lado, supondo-se que a taxa de degradação dos resíduos entre os 42 e 67 dias foi a mesma observada até os 42 dias (meia-vida de degradação em torno de 18 dias), então, o total esperado dos resíduos aos 67 dias estaria em média ao redor de 12% para os dois solos (Figuras 4 e 9), subtraindo-se a fração aproximada de 5% encontrada acima dos 50 cm, obtêm-se a fração de cerca de 7% sendo transportada para além dos 50 cm de profundidade. Tomando-se por base a hipótese mais provável, ou seja, que a degradação dos resíduos continuou a partir dos 42 dias, embora numa taxa menor devido à localização dos resíduos a maiores profundidades, então, pode-se estimar que a quantidade de resíduos transportada para além dos 50 cm ficou situada entre 7 e 25% da dose aplicada. Admitindo-se o valor médio 16% e que os resíduos tenham sido transportados a profundidades maiores na mesma proporção, então, cerca de 2,56% (16% de 16%) teria ultrapassado 1 metro de profundidade e assim por diante. Seguindo-se esse raciocínio, a quantidade de resíduos transportadas para além dos 2 m de profundidade seria de apenas 0,06% (2,5% de 2,5%) da dose aplicada. Espera-se que este movimento vertical possa ser menor ainda no Podzólico Vermelho-Amarelo, isto é, as diferenças se acentuam quanto maior a profundidade (menor permeabilidade quanto mais próximo do horizonte B-textural). Por outro lado, pode haver a possibilidade de contaminação do curso d'água através da enxurrada ou escorrimento lateral subsuperficial. Admitindo-se a aplicação de aldicarbe na dosagem mais alta recomendada,

ou seja 4 kg de ingrediente ativo/ha, então, a quantidade de resíduos transportada para além dos 2 m seria equivalente a 2,4 g/ha. Nesse caso, mesmo que esta quantidade estivesse concentrada numa faixa de 10 cm de solo, a concentração de resíduos abaixo de 2 m de profundidade seria de 2,4 ug/kg solo (1 m^3 de solo = 1 ton), concentração essa inferior a 5 ug/kg, a qual é considerada negligível por JONES et alii (24). No caso dos solos estudados no presente trabalho, o lençol freático localiza-se a muitos metros de profundidade. Dessa forma, a contaminação da água do lençol freático nesses solos com quantidades significativas de resíduos de aldicarbe provenientes de aplicação de Temik 150^R nas dosagens normalmente utilizadas não seria esperada. Contudo, se o lençol freático nesses solos fosse próximo à superfície, então uma apreciável quantidade de resíduos seria transportada para a água desse lençol, evidenciando a importância da posição do solo na paisagem.

Os resultados obtidos após a aplicação de Standak 5G^R, mostraram, a exemplo do observado com a aplicação de Temik 150^R, uma acentuada lixiviação dos resíduos nas colunas de solo, embora a retenção de sulfona de aldicarbe nos grânulos de Standak 5G^R tenha retardado a lixiviação dos resíduos. Essa retenção pode ser vantajosa na prática pois manteria os resíduos por mais tempo acima nos primeiros 20 cm de solo, onde o sistema radicular é mais ativo em termos de absorção de água e nutrientes. Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram que, aos 42 dias após a aplicação de Temik 150^R, a quantidade de resíduos nos primeiros 20 cm de profundidade foi muito baixa, enquanto que no caso do Standak 5G^R, a quantidade de resíduos nes

sa época foi maior nos primeiros 20 cm de profundidade. A maior retenção de sulfona de aldicarbe nos grânulos é atribuída a diferenças nas técnicas de preparação dos grânulos de Temik e Standak. Sendo assim, modificações na técnica de preparação dos grânulos de Temik 150^R podem aumentar a disponibilidade de aldicarbe e de seus metabólitos para as raízes das plantas e também diminuir a lixiviação dos resíduos para os horizontes mais profundos do solo.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzido o presente trabalho pode-se concluir o seguinte:

- a) A liberação de aldicarbe dos grânulos de Temik 150^R foi mais rápida do que a liberação de sulfona de aldicarbe dos grânulos de Standak 5 G^R, o que é atribuído a diferenças nas técnicas de preparação das duas formulações granuladas.
- b) A taxa de degradação de aldicarbe (Temik) em compostos pouco tóxicos (não-carbamatos) foi semelhante àquela observada para sulfona de aldicarbe (Standak), com valores de meia-vida de degradação em torno de 18 dias para ambos os solos estudados.
- c) Aldicarbe foi extensivamente oxidado a sulfóxido de aldicarbe, aos 42 dias após a aplicação de aldicarbe (Temik) no Latossolo Roxo, a maior parte dos resíduos remanescentes encontrava-se na forma de sulfóxido de aldicarbe.
- d) A lixiviação dos resíduos tóxicos totais de aldicarbe (soma dos resíduos de aldicarbe e de seus produtos de oxidação sulfóxido e sulfona de aldicarbe) foi maior no Latossolo Roxo. Após a aplicação de Temik 150^R, aldicarbe e seus metabólitos tóxicos fo

ram prontamente lixiviados em ambos os solos, com a concentração dos compostos aos 42 dias após a aplicação sendo maior entre 20 e 40 cm de profundidade.

- e) Os resíduos de sulfona de aldicarbe provenientes da aplicação de Standak 5G^R também foram lixiviados intensamente, porém em menor intensidade no Podzólico Vermelho-Amarelo. Contudo, devido à liberação relativamente lenta de sulfona de aldicarbe dos grânulos, a concentração dos resíduos nos primeiros 5 cm de profundidade de solo permaneceu maior do que em profundidades maiores até 42 dias após a aplicação.
- f) A partir dos 42 dias após a aplicação de Temik 150^R e Standak 5G^R, observou-se a lixiviação de resíduos tóxicos para além dos 50 cm de profundidade. Com base nos resultados obtidos foi estimado que a quantidade de resíduos tóxicos totais de aldicarbe transportada para além dos 50 cm de profundidade foi equivalente a cerca de 16% da dose aplicada de aldicarbe; a quantidade transportada para além de 1 metro de profundidade foi estimada em apenas 2,56% da dose aplicada. Naturalmente, estas quantidades seriam ainda menores no Podzólico Vermelho-Amarelo.
- g) Uma vez que nos solos estudados o lençol freático está localizado a muitos metros de profundidade, concluiu-se que não é esperada a contaminação da água do lençol freático desses solos com quantidades significativas de resíduos tóxicos de aldicarbe provenientes da aplicação de Temik 150^R nas doses normalmente utilizadas, enfatizando a importância da posição do solo na paisagem.

6. RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho investigar o movimento e a degradação dos inseticidas aldicarbe (Temik 150^R) e sulfona de aldicarbe (Standak 5G^R) em dois solos da região de Lavras - MG, um Latossolo Roxo e um Podzólico Vermelho-Amarelo. Para tanto, com auxílio de uma marreta, foram introduzidos em cada solo 12 tubos de P.V.C. (50 cm de comprimento, 5 cm de diâmetro e 0,5 cm de espessura). Em cada tubo, a 2,5 cm de profundidade aplicou-se 1 g de Temik 150^R (150 g de aldicarbe/kg) ou 2 g de Standak 5 G^R (50 g de sulfona de aldicarbe/kg). Cada inseticida foi aplicado em seis tubos em cada solo e a aplicação foi feita em 06/11/86.

Aos 12, 26, 42, 67, 91 e 140 dias após a aplicação, retirou-se de cada solo um tubo tratado com Temik e outro com Standak. No laboratório, com auxílio de uma serra de arco, os tubos foram seccionados em segmentos de 5 cm e a camada de solo de cada segmento foi analisada separadamente. Os resíduos foram extraídos com acetona em mesa agitadora. A determinação quantitativa dos resíduos foi feita por cromatografia a gás, utilizando-se detector fotométrico de chama. No caso das amostras do Latossolo Roxo provenientes dos tubos tratados com Temik, o aldicarbe e seus metabólitos tóxicos sulfóxido e sulfona de aldicarbe foram quantificados separadamente, após a sepa

ração dos compostos em placas de cromatografia de camada fina contendo sílica gel fluorescente.

Observou-se que o movimento de aldicarbe nas colunas de solo foi ligeiramente mais intenso no Latossolo Roxo, embora a taxa de degradação tenha sido semelhante. Aos 12 dias após a aplicação, a maior parte dos resíduos tóxicos (somatória dos resíduos de aldicarbe e de seus metabólitos tóxicos) estava presente nos primeiros 5 cm de profundidade. Aos 26 dias, a maior concentração dos resíduos foi encontrada entre 5 e 15 cm; nessa época, os resíduos tóxicos foram equivalentes a apenas cerca de 35% da dose aplicada de aldicarbe. Aos 42 dias, os resíduos estavam mais concentrados entre 30 e 45 cm, sendo que uma pequena fração dos resíduos havia ultrapassado os 50 cm de profundidade; nessa época a maior parte dos resíduos tóxicos foi identificada como sulfóxido de aldicarbe, indicando intensa oxidação de aldicarbe nos solos. A partir dos 67 dias, a concentração dos resíduos nas colunas de solo foi muito baixa, devido à contínua degradação dos resíduos em compostos não-carbamatos e devido à lixiviação desses para além dos 50 cm de profundidade. A meia-vida de degradação de aldicarbe em compostos não carbamatos foi semelhante nos dois solos, em torno de 18 dias. A quantidade de resíduos tóxicos de aldicarbe transportada para além dos 50 cm de profundidade no Latossolo Roxo foi estimada ser equivalente a cerca de 16% da dose aplicada de aldicarbe, ou então cerca de apenas 2,5% para além de 1 metro de profundidade, sendo menor ainda no solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Uma vez que nos solos estudados o lençol freático está localizado

a muitos metros de profundidade, concluiu-se que não seria esperada a contaminação da água do lençol freático desses solos com quantidades significativas de resíduos tóxicos de aldicarbe provenientes da aplicação de Temik 150^R nas dosagens normalmente utilizadas, sendo crítica nesse contexto a posição do solo na paisagem.

O movimento de sulfona de aldicarbe nas colunas de solo tratados com Standak foi ligeiramente mais intenso no Latossolo Roxo, embora a taxa de degradação tenha sido semelhante para os dois solos. A liberação de sulfona de Aldicarbe dos grânulos foi mais lenta que a liberação de aldicarbe dos grânulos de Temik, o que é atribuído a diferenças na preparação das duas formulações granuladas. A liberação mais lenta de sulfona de aldicarbe dos grânulos resultou em maior concentração dos resíduos nos primeiros 5 cm de profundidade até os 42 dias após a aplicação. Após a liberação dos grânulos os resíduos de sulfona de aldicarbe foram intensamente lixiviados nas colunas dos solos mas, a exemplo de aldicarbe a intensa degradação do composto nos solos resultou em lixiviação para além dos 50 cm de profundidade de apenas uma pequena fração da dose aplicada.

7. SUMMARY

The leaching and breakdown of the insecticides aldicarb (Temik 150^R) and aldoxycarb (Standak 5G) were monitored in columns of two soils (Dusky Red Latosol and Red Yellow Podzólic) at Lavras, Minas Gerais State, Brasil, under field conditions. PVC tubes (50 cm long, 5 cm i.d., wall thickness 5 mm) were driven vertically into the soils and the granular formulated insecticides were incorporated into the soil columns at the depth of 2.5 cm. Each insecticide was applied to six columns of each soil, at a dose of 1 or 2 g/column, respectively for Temik 150 and Standak 5G. Application was carried out in the beginning of the rainy season in the region, on November the 6th, 1986. At 12, 26, 42, 67, 91 and 140 days after application, one tube from each treatment was taken for analysis.

In the laboratory, the tubes were sectioned into 5 cm portions using a hacksaw, and the soil from each section was analysed. The chemicals were extracted from the soil samples using acetone as extracting solvent and were determined quantitatively by gas-liquid chromatography using a flame photometric detector. The conversion of aldicarb to its oxidation products aldicarb sulphoxide and aldoxycarb was investigated in one of the soils, with the chemi-

cals being separated by thin layer chromatography prior to quantitative determination.

It was observed that the leaching and breakdown of aldicarbe in the soil columns was slightly higher in Dusky Red Latossol though the degradation rate was been similar. At 12 days after application, most of the total toxic residues (sum of aldicarbe sulphoxide and aldoxycarb) was found in the top 5 cm of the columns. At 26 days, most of the residues was found between 5 and 15 cm; the total residues remaining at this time was equivalent to only about 35% of the applied dose of aldicarbe, indicating about a fairly high degradation rate of aldicarb to non-carbamate compounds in both soils. At 42 days after application, most of the residues was found between 30 and 45 cm, with a small fraction of the residues being leached beyond the 50 cm depth; at this time most of the residues was identified as aldicarb sulphoxide indicating extensive oxidation of aldicarbe in the soil columns. Following 67 days after application, very little residues was found in the soil columns, due to continuous degradation of the residues to non-carbamate compounds and due to leaching of residues beyond the depth of 50 cm. The amount of toxic residues leached beyond the 50 cm depth was estimated to be equivalent to about 16% of the applied dose of aldicarbe.

The leaching and breakdown of aldoxycarb following the application of Standak 5 G was slightly higher in Dusky Red Latossol though the degradation rate had been similar to the two soils. Aldoxycarb 42 days after application, which is ascribed to a much

slower release of aldoxycarb from the granules of Standak than aldi carb from the granules of Temik, due to differences in the preparation of the two granular formulations. After the release of aldoxycarb from the granules, the compound was readily leached in the soil columns, though the fairly high degradation rate of the compound in the soils columns resulted in only a small fraction of the applied dose being leached beyond the 50 cm depth.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ANDRAWES, N.R.; BAGLEY, W.P. & HERRETT, R.A. Fate and carry-over properties of Temik aldicarbe pesticide (2-methyl-2-(methylthio) propionaldehyde O- (methyl carbamyl oxime) in soil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 19 (4):727-30, July/Aug. 1971.
02. BATISTA, C.C.; BOSCARIOL, L.R.; ISHIDA, M. & CARDOSO, M.R. de O. Resíduos de dodecacloro determinados por cromatografia gasosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 10, Rio de Janeiro. Resumos... Rio de Janeiro, 1986. p.251.
03. BLANCO, H.G. Destino, comportamento e resíduos dos herbicidas no solo. O Biológico, São Paulo, 45(11/12):225-48, Nov. / Dez., 1979.
04. _____; NOVO, M.C.S.S.; COELHO, R.R. & OLIVEIRA, D.A. Comportamento do herbicida trifluralin em solos. II. Persistência em solo barrento cultivado com soja nas condições de Pirassununga, Estado de São Paulo. O Biológico, São Paulo, 47(12):339-45, Dez. 1981.

05. BRIGGS, G.G. A simple relationship between soil adsorption of organic chemicals and their octanol/water partition coefficients. In: BRITISH INSECTICIDE AND FUNGICIDE CONFERENCE, 7. 1973. Proceedings... p.83-6.
06. _____ Theoretical and experimental relationship between soil adsorption, octanol-water partition coefficients, water solubilities, bioconcentration factors, and the parachor. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, 29 (6):1050-9, Nov./Dez., 1981.
07. BROMILOW, R.H. Breakdown and fate of oximecarbamate nematocides in crops and soils. In: Proceedings of the Association of Applied Biologists, Herpenden, 1973. p.473-9.
08. _____ ; BAKER, J.J.; FREEMAN, M.A. & GOROG, K. The degradation of aldicarb and oxamyl in soil. Pesticide Science, Oxford, 11:371-8, 1980.
09. _____ & LEISTRA, M. Measured and simulated behaviour of aldicarb and its oxidation products in fallow soils. Pesticide Science, Oxford, 11:389-95, 1980.
10. _____ & LORD, K.A. Analysis of sulphur-containing carbamates by formation of derivatives in the gas-liquid chromatograph using trimethyl phenyl ammonium hydroxide. Journal of Chromatography, Netherlands, 125: 495-502, 1976.

11. BROMILOW, R.H. & LORD, K.A. Distribution of nematicides in soil and its influence on control of cyst-nematodes (*Globo-dera* and *Heterodera* spp.). Annals of Applied Biology, London, 92:(1)93-104, May 1979.
12. BULL, D.L.; STOKES, R.A.; COPPEDGE, J.R. & RIDGWAY, R.L. Further studies of the fate of aldicarbe in soil. Journal of Economic Entomology, Texas, 63(4):1283-9, Apr. 1970.
13. COPPEDGE, J.R.; STOKES, R.A.; KINZER, R.E. & RIDGWAY, R.L. Effect of soil moisture and soil temperature on the release of aldicarbe from granular formulations. Journal of Economic Entomology, Texas, 68(2):209-10, Apr. 1974.
14. DEJONCKHEERE, W.; STERBAUT, W.; MELKEBEKE, G. & KIPS, R.H. Leaching of aldicarb and thiofanox, and their uptake in soils by sugarbeet plants. Pesticide Science, Oxford, 14: 99-107, 1983.
15. DIKSHIT, A.K.; AGNIHOTRI, N.P.; DEWAN, R.S. & SAXENA, H.P. Dis-sipation of aldicarb in soil and pea plant. Indian Journal of Agricultural Science, New Delhi, 46(3):117-9, Mar. 1976.
16. FERREIRA, M.S. Resíduos de inseticidas em solos do Estado de São Paulo. In: ENCONTRO ANUAL DE ANALISTAS DE RESÍDUOS DE PESTICIDAS, 5, São Paulo, 1980. Relatório... São Paulo, Instituto Adolpho Lutz, 1980. p.149.

17. FIORE, M.C.; ANDERSON, H.A.; HONG, R.; GOLUBJATNIKOV, R.; SEISER, J.E.; NORDSTROM, D.; HANRAHAN, L. & BELLUCK, D. Chronic exposure to aldicarbe contaminated ground water and human immune function. Environmental Research, Wisconsin, 41; 633-45, 1986.
18. GORING, C.A.I. Control of nitrification by 2-chloro-6-(trichloromethyl) pyridine. Soil Science, California, 93(3):211-8, Mar. 1962.
19. HARTLEY, G.S. & GRAHAM-BRYCE, I.J. Physical principles of pesticide behaviour. New York, Academic Press, 1: 1980. v.1, 518p.
20. HELENE, C.G.; LORD, K.A. & RUEGG, E.F. The persistence, leaching and volatilization of C¹⁴ aldrin in two brazilian soils. Ciência e Cultura, São Paulo, 33(1):101-5, Jan. 1981.
21. HELLING, C.S. & TURNER, B.C. Pesticide mobility: Determination by soil thin-layer chromatography. Science, Washington, 162 (3853):562-3, Nov. 1968.
22. JONES, R.L. The aldicarb experience: 2. Results of monitoring and research programs. Trialgle Park, NC. Union Carbide Agricultural Products Company Incorporat, 46p. 1987.

23. JONES, R.L. & BACK, R.C. Monitoring aldicarb residues in Florida soil and water. Environmental Toxicology and Chemistry, Elmsford, 3:9-20, 1984.
24. _____; BLACK, G.W. & ESTES, T.L. Comparison of computer predictions with unsaturated zone field data for aldicarb and aldoxycarb. Environmental Toxicology and Chemistry, Elmsford, 5:1027-37, 1986.
25. _____; HANSEN, J.L.; ROMINE, R.R. & MARQUARDT, T.E. Unsaturated zone studies of the degradation and movement of aldicarb and aldoxycarb residues. Environmental Toxicology and Chemistry, Elmsford, 5:361-72, 1986.
26. LEISTRA, M.; BROMILOW, R.H. & BOESTEN, J.T.I. Measured and simulated behaviour of oxamyl in fallow soils. Pesticide Science, Oxford, 11:379-88, 1980.
27. _____ & SMELT, J.H. Movement and conversion of ethoprophos in soil in winter: 2. Computer simulation. Soil Science, Baltimore, 131(5):296-302, May 1981.
28. LEISTRA, M.; SMELT, J.H. & LEXMOND, T.M. Conversion and leaching of aldicarb in soil columns. Pesticide Science, Oxford, 7:471-82, 1976.

29. LIGHTFOOT, E.N. THORNE, P.S.; JONES, R.L.; HANSEN, J.L. & ROMINE, R.R. Laboratory studies on mechanisms for the degradation of aldicarbe, aldicarbe sulphoxide and aldicarbe sulfone. Environmental Toxicology and Chemistry, Elmsford. 6:377-94, 1987.
30. LIMA, J.M. de. Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetro físico e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG). Lavras, ESAL, 1987. 86p. (Tese MS.).
31. LORD, K.A.; HELENE, C.G.; ANDREA, M.M. de & RUEGG, E.F. Sorption and movement of pesticides on thin layer plates of brazilian soils. Arquivos do Instituto Biológico de São Paulo, São Paulo, 45(1):47-52, Jan./maio, 1978.
32. MILLAR, A.A. Drenagem de terras agrícolas; Bases Agronômicas. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978. 276p.
33. NICHOLLS, P.H. ; BROMILOW, R.H. & ADDISCOTT, T.M. Measured and simulated behaviour of fluometuron, aldoxycarb and chloride ion in a fallow structured soil. Pesticide Science, Oxford, 13:475-83, 1982.
34. RUEGG, E.G.; MESQUITA, T.B.; LUCHINI, L.C.; SAMPAIO, M.R.F.P.; ABUSSAMRA, M. & OSTIZ, S.B. Retenção do lindano aplicado a dois solos do município de São Paulo. Ciência e Cultura, São Paulo, 39(11):1079-83, 1987.

35. STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.B. & VILLAR, D.M. Ensaio de laboratório em mecânica dos solos. São Carlos, USP, 1981. 208p.
36. UNION CARBIDE PRODUTOS AGROPECUÁRIOS. Temik defensivo agrícola aldicarbe. Uma avaliação científica. São Paulo, Union Carbide do Brasil, 1983. 63p.
37. VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, UFRRJ, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
38. WORTHING, C.R. The pesticide manual. A world compendium. 7. ed. Lavenham, British Crop Protection Council, 1983. 695p.
39. ZAKE, M.H.; MORAN, D. & HARRIS, D. Pesticide in groundwater. The aldicarb story in Suffolk County. American Journal of Public Health, New York, 72:1319-95, 1982.

APÉNDICE.

QUADRO 4 - Quantidades de Sulfona de Aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Standak 5 G^R em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do produto no Latossolo Roxo. ESAL, Lavras, 1989.

Profundidade do solo (cm)	Concentração em mg/segmento				
	Número de dias após aplicação do produto				
	12 dias (18/11/86)	26 dias (02/12/86)	42 dias (18/12/86)	67 dias (12/01/87)	91 dias (05/02/87)
0 - 5	49,02	26,75	10,03	1,33	0,66
5 - 10	1,22	4,29	2,01	0,24	0,36
10 - 15	2,41	5,26	1,42	0,14	0,27
15 - 20	1,77	3,62	2,07	0,19	0,21
20 - 25	0,41	1,53	2,96	0,25	0,20
25 - 30	< LD	0,26	3,08	0,20	0,12
30 - 35	< LD	< LD	3,13	0,15	0,10
35 - 40	< LD	< LD	1,42	0,15	0,13
40 - 45	< LD	< LD	0,30	0,21	0,21
45 - 50	< LD	< LD	< LD	0,24	0,16
Total Recuperado	54,83	41,71	26,42	3,10	2,42

LD - limite de detecção do método empregado.

QUADRO 5 - Quantidades de Sulfona de Aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Standak 5 G^R em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do produto no solo Podzólico Vermelho-Amarelo. ESAL, Lavras, 1989.

Profundidade do solo (cm)	Concentração em mg/segmento				
	Número de dias após aplicação do produto				
	12 dias (18/11/86)	26 dias (02/12/86)	42 dias (18/12/86)	67 dias (12/01/87)	91 dias (05/02/87)
0 - 5	39,91	18,82	10,30	0,70	0,34
5 - 10	1,81	4,66	1,72	0,20	0,06
10 - 15	1,11	7,70	2,10	0,23	0,15
15 - 20	0,39	4,18	2,50	0,38	0,17
20 - 25	<LD	2,65	2,14	0,63	0,21
25 - 30	<LD	1,46	1,34	0,69	0,29
30 - 35	<LD	0,57	0,87	0,96	0,24
35 - 40	<LD	0,37	0,79	1,34	0,21
40 - 45	<LD	0,19	0,51	1,60	0,28
45 - 50	<LD	0,09	0,27	1,51	0,42
Total Recuperado	43,22	40,69	22,54	8,24	2,37

LD - Limite de Detecção do método empregado.

QUADRO 6 - Quantidades de Resíduos Tóxicos Totais de aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150^R no Latossolo Roxo, em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do produto. ESAL, Lavras, 1989.

Prof. do Solo (cm)	18/11/86 (12 dias)		02/12/86 (26 dias)		18/12/86 (42 dias)		12/01/87 (67 dias)		05/02/87 (91 dias)		26/03/87 (140 dias)	
	Conc.mg/segmento	%	Conc.mg/segmento	%	Conc.mg/segmento	%	Conc.mg/segmento	%	Conc.mg/segmento	%	Conc.mg/segmento	%
0 - 5	71,90	47,93	10,61	7,07	0,84	0,56	0,47	0,31	0,29	0,20	0,27	0,18
5 - 10	4,28	2,86	24,46	16,31	0,44	0,29	0,03	0,02	0,06	0,04	0,02	0,01
10 - 15	6,00	4,00	13,91	9,27	0,54	0,36	0,03	0,02	0,08	0,05	0,03	0,02
15 - 20	4,08	2,72	2,70	1,80	0,96	0,64	0,06	0,04	0,03	0,02	< LD	-
20 - 25	3,05	2,03	1,69	1,13	2,78	1,85	0,14	0,09	0,09	0,06	< LD	-
25 - 30	0,09	0,06	0,11	0,08	4,82	3,21	0,30	0,20	0,12	0,08	0,35	0,23
30 - 35	< LD	-	LD	-	9,48	6,32	0,23	0,16	0,17	0,12	0,51	0,34
35 - 40	< LD	-	0,03	0,02	12,17	8,11	0,80	0,53	0,43	0,28	0,85	0,57
40 - 45	< LD	-	< LD	-	10,88	7,25	1,46	0,97	0,54	0,36	1,09	0,73
45 - 50	< LD	-	< LD	-	7,46	4,97	3,44	2,29	0,48	0,32	0,69	0,46
Total Recuperado	89,40	59,60	53,51	35,68	50,37	33,56	6,96	4,63	2,29	1,53	3,81	2,54

NOTA: Os resultados são expressos em mg de aldicarbe por segmento de solo e respectiva porcentagem de aldicarbe em relação à quantidade inicial aplicada (%).

LD - Limite de Detecção do método empregado.

QUADRO 7 - Quantidades de Aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150^R em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do produto no Latossolo Roxo. ESAL, Lavras, 1989.

Profundidade do solo (cm)	Número de dias após a aplicação do produto											
	12 dias (18/11/86)		26 dias (02/12/86)		42 dias (18/12/86)		67 dias (12/01/87)		91 dias (05/02/87)		140 dias (26/03/87)	
	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%
0 - 5	68,09	45,40	7,42	4,95	0,51	0,34	0,32	0,22	0,99	0,06	0,15	0,10
5 - 10	3,24	2,16	18,38	12,25	0,11	0,07	< LD	-	0,03	0,02	< LD	-
10 - 15	4,48	2,98	9,23	6,15	0,11	0,07	< LD	-	0,02	0,01	< LD	-
15 - 20	3,04	2,03	1,22	0,82	0,20	0,13	0,02	0,02	< LD	-	< LD	-
20 - 25	0,98	0,66	0,34	0,23	0,88	0,59	0,05	0,04	0,02	0,01	< LD	-
25 - 30	< LD	-	< LD	-	1,84	1,23	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01
30 - 35	< LD	-	< LD	-	5,09	3,39	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02
35 - 40	< LD	-	0,03	0,02	6,02	4,01	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
40 - 45	< LD	-	< LD	-	2,43	1,62	0,45	0,04	0,05	0,04	0,09	0,06
45 - 50	< LD	-	< LD	-	1,08	0,72	1,08	0,72	0,05	0,03	0,05	0,03
Total Recuperado	79,83	-	36,62	-	18,27	-	2,03	-	0,33	-	0,35	-

Nota: O composto foi quantificado sob a forma de sulfona de Aldicarbe e os resultados foram convertidos para a forma de Aldicarbe e expressos em mg de Aldicarbe/segmento de solo e em porcentagem remanescente de Aldicarbe em relação à quantidade inicial aplicada (%).

LD - Limite de Detecção do método empregado.

QUADRO 7 - Continuação - Quantidades de sulfona de aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150^R em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do produto no Latossolo Roxo.

Profundidade do solo (cm)	Número de dias após a aplicação do produto											
	12 dias (18/11/86)	26 dias (02/12/86)	42 dias (18/12/86)	67 dias (12/01/87)	91 dias (05/02/87)	140 dias (26/03/87)						
	mg/seg- mento	%	mg/seg- mento	%	mg/seg- mento	%	mg/seg- mento	%	mg/seg- mento	%		
0 - 5	0,18	0,11	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,16	0,09	<LD	-
5 - 10	0,06	0,04	0,13	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	<LD	-	<LD	-
10 - 15	0,10	0,06	0,12	0,07	0,05	0,03	0,03	0,03	<LD	-	<LD	-
15 - 20	LD	-	0,03	0,02	0,05	0,03	0,03	0,03	<LD	-	<LD	-
20 - 25	0,05	0,03	0,05	0,03	0,09	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	<LD	-
25 - 30	<LD	-	0,02	0,01	0,15	0,09	0,09	0,02	0,04	0,02	<LD	-
30 - 35	<LD	-	<LD	-	0,37	0,21	0,21	0,04	0,04	0,02	0,04	0,02
35 - 40	<LD	-	<LD	-	<LD	-	<LD	0,04	<LD	-	<LD	0,09
40 - 45	<LD	-	<LD	-	0,16	0,09	0,09	0,05	0,03	0,04	0,04	0,20
45 - 50	<LD	-	<LD	-	0,11	0,06	0,06	0,05	0,03	<LD	<LD	0,11
Total recuperado	0,39	-	0,42	-	1,06	-	0,34	-	0,30	-	0,44	-

Nota: Os resultados foram expressos em mg de sulfona de aldicarbe/segmento de solo. Os resultados foram também convertidos para quantidades equivalentes de aldicarbe e expressos em porcentagem remanescente em relação a quantidade inicial aplicada.

QUADRO 7 - Continuação - Quantidades de sulfóxido de aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150^R em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do produto no Latossolo Roxo.

Profundidade do solo (cm)	Número de dias após a aplicação do produto											
	12 dias (18/11/86)		26 dias (02/12/86)		42 dias (18/12/86)		67 dias (12/01/87)		91 dias (05/02/87)		140 dias (26/03/87)	
	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%	mg/segmento	%
0 - 5	3,95	2,44	3,13	1,93	0,32	0,20	0,14	0,09	0,07	0,04	0,13	0,08
5 - 10	1,08	0,66	5,97	3,69	0,32	0,20	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
10 - 15	1,55	0,96	4,22	2,60	0,43	0,26	0,03	0,02	0,07	0,04	0,03	0,02
15 - 20	1,16	0,69	1,57	0,97	0,78	0,48	0,04	0,03	0,03	0,02	< LD	-
20 - 25	2,19	1,35	1,41	0,87	1,97	1,21	0,07	0,04	0,05	0,03	< LD	-
25 - 30	0,10	0,06	0,11	0,06	3,08	1,90	0,24	0,15	0,05	0,03	0,29	0,18
30 - 35	< LD	-	< LD	-	4,40	2,71	0,20	0,12	0,17	0,11	0,33	0,20
35 - 40	< LD	-	< LD	-	6,65	4,10	0,77	0,47	0,42	0,26	0,81	0,50
40 - 45	< LD	-	< LD	-	8,98	5,54	1,05	0,65	0,52	0,32	1,05	0,65
45 - 50	< LD	-	< LD	-	6,79	4,19	2,43	1,50	0,42	0,26	0,69	0,43
Total Recuperado	10,03	-	16,41	-	33,72	-	5,01	-	1,83	-	3,35	-

Nota: O composto foi quantificado sob a forma de sulfona de aldicarbe e os resultados finais convertidos para a forma de sulfóxido de aldicarbe, e expressos em mg de sulfóxido de aldicarbe/segmento de solo. Os resultados foram também convertidos para a forma de aldicarbe e expresso em termos de porcentagem remanescente em relação a quantidade de aldicarbe aplicada.

QUADRO 8 - Quantidades de Resíduos Tóxicos Totais de Aldicarbe recuperadas a partir da aplicação de Temik 150^R no solo Podzólico Vermelho-Amarelo, em diferentes intervalos de tempo após a aplicação do produto. ESAL, Lavras, 1989.

Profundidade do solo (cm)	12 dias 18/11/86		26 dias 02/12/86		42 dias 18/12/86		67 dias 12/01/87		91 dias 05/02/87		140 dias 26/03/87	
	Conc. mg/segmento	%	Conc. mg/segmento	%	Conc. mg/segmento	%	Conc. mg/segmento	%	Conc. mg/segmento	%	Conc. mg/segmento	%
0 - 5	51,34	34,23	1,86	1,24	1,06	0,71	0,53	0,35	0,45	0,30	0,50	0,33
5 - 10	5,36	3,58	9,39	6,26	1,82	1,21	0,08	0,06	0,05	0,03	<LD	-
10 - 15	8,02	5,35	32,94	21,96	5,90	3,93	0,13	0,08	<LD	-	<LD	-
15 - 20	3,92	2,62	10,06	6,70	11,24	7,50	0,19	0,13	0,04	0,03	<LD	-
20 - 25	3,87	2,58	10,03	6,69	11,01	7,34	0,28	0,19	0,04	0,03	<LD	-
25 - 30	0,61	0,41	4,75	3,17	5,70	3,80	0,34	0,23	0,06	0,04	<LD	-
30 - 35	0,25	0,17	1,63	1,09	3,56	2,37	0,69	0,46	0,08	0,05	<LD	-
35 - 40	0,09	0,06	0,70	0,47	2,15	1,43	0,80	0,53	0,11	0,07	0,04	0,03
40 - 45	<LD	-	0,39	0,26	1,43	0,95	1,29	0,86	0,17	0,11	0,06	0,04
45 - 50	<LD	-	0,24	0,16	0,44	0,29	4,13	2,75	0,26	0,17	0,07	0,04
Total recuperado	73,46	49,00	71,99	48,00	44,31	29,53	8,46	5,64	1,26	0,83	0,67	0,44

Nota: Os resultados são expressos em mg de Aldicarbe por segmento de solo e em porcentagem remanescente de Aldicarbe em relação à quantidade inicial aplicada.

LD - Limite de Detecção do método empregado.

QUADRO 9 - Quadro de Análise de Variância

Causas da Variação	GL	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Solo	1	0,9004	0,9004	N.S.
Inseticida	1	2,5177	2,5177	1,11NS
Época	4	765,3345	191,3336	31,93**
Profundidade	9	2.342,1948	260,2438	43,42**
S x I	1	0,4438	0,4438	N.S.
S x E	4	17,1656	4,2914	N.S.
S x P	9	107,3292	11,9254	1,99
I x E	4	5,4712	1,3678	N.S.
I x P	9	266,6759	29,3065	4,89**
E x P	36	4.935,3238	137,0923	22,88**
Resíduo	121	725,1501	5,9930	
Total	199	9.168,5070		

QUADRO 10 - Dados de precipitação pluviométrica (mm/dia) referentes ao período de 01/11/86 a 31/03/87.

Dia \ Mês	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março
01	0,0	18,4	1,4	0,0	0,0
02	0,0	7,2	10,4	0,0	0,0
03	17,6	0,0	7,8	1,4	0,0
04	0,4	0,0	0,1	0,5	0,0
05	1,3	0,0	0,0	7,0	0,0
06	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0
07	0,0	26,0	0,0	0,0	39,2
08	0,0	10,0	0,0	10,4	61,6
09	0,0	34,4	15,0	9,0	41,0
10	0,0	0,0	1,3	0,0	4,6
11	37,2	1,7	0,0	2,2	0,0
12	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,3	0,0	2,2	0,0
14	0,0	18,6	12,4	28,0	0,0
15	0,0	8,0	24,6	8,8	2,2
16	0,0	8,5	10,0	30,8	0,0
17	0,0	4,2	18,0	15,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0
19	0,0	0,0	13,5	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	10,4
21	0,0	25,1	0,0	0,0	20,0
22	0,0	165,8	34,2	0,0	0,0
23	0,0	7,0	13,6	0,0	0,0
24	0,0	38,0	1,5	0,0	0,0
25	13,6	44,2	0,4	0,0	0,0
26	0,2	18,2	18,2	0,0	0,0
27	19,0	8,2	9,0	0,0	0,0
28	0,9	40,6	5,1	0,0	0,0
29	38,5	13,2	8,0		0,0
30	0,6	11,6	0,0		0,0
31		0,0	0,0		0,0

Nota: Os dados foram fornecidos pela Estação Agroclimática da ESAL.

Quadro 11- Valores de temperatura do solo, a diferentes profundidades, obtidos na Estação Agroclimatológica da ESAL, de novembro de 1986 a março de 1987.

Mês	Novembro - 1986					
	Profundidade do Solo (cm)					
Dia	02	05	10	20	30	50
01	52,2	49,6	38,4	29,6	26,2	24,8
02	51,6	43,6	37,2	30,0	27,0	25,4
03	50,5	48,9	38,4	30,0	26,8	25,6
04	37,0	33,0	30,2	27,8	26,4	25,7
05	36,6	36,4	34,0	27,4	25,4	25,2
06	32,0	30,6	28,6	26,0	25,4	25,2
07	40,4	36,6	33,2	27,4	25,4	25,0
08	41,2	37,2	33,8	27,8	25,4	25,2
09	45,2	38,8	34,0	28,2	26,0	25,4
10	34,6	35,2	33,6	28,7	26,1	25,4
11	18,4	20,0	22,0	24,5	25,0	25,2
12	17,4	17,4	17,8	19,6	21,4	23,8
13	18,2	19,2	19,7	19,0	20,0	22,4
14	22,6	22,4	21,4	20,0	20,0	21,7
15	33,0	28,4	24,4	20,4	20,2	21,0
16	30,6	30,2	28,2	23,4	21,2	21,8
17	45,4	42,0	35,0	25,4	22,6	22,4
18	34,6	35,2	33,4	27,4	24,0	23,2
19	44,2	41,8	35,4	27,6	24,0	23,8
20	43,0	40,8	33,6	28,2	25,4	24,4
21	43,0	42,2	36,6	29,2	26,2	24,6
22	46,4	41,2	36,0	29,2	26,4	25,2
23	50,8	40,2	36,0	29,5	26,6	25,5
24	32,7	31,2	28,0	26,7	26,2	25,8
25	43,8	38,6	34,0	28,3	25,9	25,3
26	43,4	39,8	33,0	26,8	25,4	25,4
27	22,0	24,4	26,8	27,0	25,2	25,0
28	22,6	28,0	27,0	25,0	24,2	24,8
29	24,8	26,0	26,0	24,2	23,6	24,2
30	25,4	26,2	26,0	23,6	23,4	24,0

Quadro 11 - Continuação

Mês	Dezembro - 1986					
	Profundidade do Solo (cm)					
Dia	02	05	10	20	30	50
01	21,4	22,4	23,2	23,0	23,0	23,6
02	32,0	29,3	25,5	23,3	23,0	23,6
03	26,0	26,0	26,0	24,4	23,4	23,5
04	29,2	29,7	29,0	25,4	24,0	23,9
05	32,3	33,0	31,2	26,2	24,3	24,1
06	28,8	30,0	29,6	26,8	24,6	24,2
07	42,0	39,8	33,6	26,6	24,8	24,7
08	28,4	27,8	26,4	24,6	24,2	24,4
09	23,2	22,6	22,8	23,6	23,6	24,4
10	32,6	31,6	28,2	24,2	23,2	23,8
11	35,4	34,6	30,6	25,6	24,2	24,2
12	34,2	32,2	29,6	25,6	24,2	24,2
13	33,0	33,2	31,0	26,4	24,6	24,2
14	27,6	26,0	24,2	24,4	24,4	24,6
15	27,2	26,6	25,4	24,4	24,0	24,4
16	30,6	29,8	25,8	23,6	23,6	24,4
17	30,8	28,9	25,2	24,0	23,9	24,3
18	32,6	33,0	31,0	26,0	24,2	24,2
19	33,0	32,8	31,0	26,2	24,6	24,6
20	34,2	34,2	31,0	26,0	24,7	24,8
21	28,2	30,0	29,8	26,0	24,6	24,8
22	22,0	22,8	23,0	23,4	23,8	24,6
23	27,2	27,4	24,6	21,8	21,8	23,0
24	26,3	27,6	26,5	23,0	22,0	22,7
25	20,5	20,7	21,0	20,5	21,0	22,5
26	21,0	22,0	21,9	20,5	21,0	22,0
27	25,0	25,0	24,2	21,6	21,1	21,8
28	29,4	27,0	24,8	22,5	22,0	22,2
29	19,6	29,0	25,0	22,2	22,0	22,4
30	21,0	21,8	22,2	21,8	21,6	22,4
31	33,6	33,0	28,6	23,0	21,6	22,4

Quadro 11- Continuação

Mês	Janeiro - 1987					
	Profundidade do Solo (cm)					
Dia	02	05	10	20	30	50
01	35,2	32,8	29,2	24,2	22,6	22,6
02	22,3	25,4	27,6	24,5	23,2	23,0
03	33,0	32,4	29,6	25,0	23,4	23,2
04	27,4	26,3	24,7	23,2	23,1	23,4
05	36,7	35,2	31,4	25,0	23,0	23,2
06	35,4	35,0	32,0	26,0	23,9	23,5
07	46,4	42,1	34,4	27,0	24,8	24,2
08	47,7	43,0	36,0	28,0	25,4	24,6
09	51,4	47,0	39,2	29,4	26,2	25,0
10	33,0	33,4	31,4	27,6	26,0	25,3
11	37,0	35,5	32,0	27,2	25,4	25,2
12	31,4	33,0	32,0	28,2	25,7	25,2
13	50,4	46,0	38,0	28,8	26,0	25,3
14	53,3	46,8	39,2	30,4	27,4	26,0
15	42,2	41,0	34,7	28,5	26,8	26,1
16	37,4	37,0	33,0	27,5	26,1	26,0
17	27,3	28,6	29,5	26,8	25,8	25,8
18	33,8	34,6	31,4	26,0	25,0	25,4
19	29,8	30,0	28,6	26,0	24,8	25,1
20	33,0	34,0	30,3	25,4	24,6	25,0
21	33,5	33,4	29,3	25,3	24,8	25,1
22	22,5	24,1	25,4	25,4	24,8	25,0
23	29,6	30,0	27,0	23,6	24,0	24,8
24	30,0	28,8	26,4	24,0	23,4	24,6
25	27,2	27,8	27,0	24,6	24,0	24,4
26	26,2	26,2	25,0	24,4	24,0	24,4
27	24,6	25,5	25,3	23,8	23,6	24,3
28	28,0	27,1	25,2	23,5	23,4	24,2
29	25,0	24,7	23,4	22,6	22,8	23,8
30	35,2	34,6	29,7	24,4	23,1	23,8
31	38,0	39,1	30,6	25,7	24,1	24,2

Quadro 11 - Continuação

Mês	Fevereiro - 1987					
	Profundidade do Solo (cm)					
Dia	02	05	10	20	30	50
01	40,2	37,4	32,8	27,0	24,6	24,4
02	38,0	36,0	32,6	27,2	25,4	25,0
03	33,0	33,4	31,6	27,4	25,6	25,2
04	34,4	32,8	29,0	25,4	25,4	25,4
05	48,6	44,2	36,2	27,8	25,4	25,4
06	23,0	23,2	23,0	24,2	25,1	25,3
07	35,0	33,4	30,4	25,4	24,4	25,0
08	40,0	37,0	32,2	26,7	25,0	25,0
09	35,8	33,6	30,8	26,3	25,2	25,2
10	30,0	29,3	26,4	24,1	24,6	25,2
11	22,0	23,0	22,2	22,4	23,2	25,7
12	30,2	29,2	27,0	23,2	22,5	24,2
13	29,0	29,2	28,0	24,2	23,2	24,0
14	26,0	27,6	27,6	24,8	23,8	24,2
15	22,0	23,0	24,2	24,2	23,6	24,2
16	29,2	28,8	27,4	23,8	23,0	23,8
17	29,0	27,8	26,6	24,2	23,2	23,8
18	30,0	28,6	26,0	23,4	23,2	23,8
19	35,6	34,0	30,4	24,8	23,2	23,8
20	33,2	32,4	30,0	25,4	23,8	24,2
21	32,2	31,6	29,2	25,2	23,8	24,2
22	39,2	36,0	31,2	25,8	24,4	24,6
23	41,8	38,0	32,6	26,8	25,0	25,0
24	46,8	42,3	34,7	27,3	25,4	25,2
25	38,4	39,4	34,8	27,8	26,0	25,4
26	46,0	41,0	34,6	27,6	26,0	25,8
27	54,6	47,0	39,0	30,0	27,0	26,6
28	54,0	46,6	38,8	30,0	27,0	26,4

Quadro 11 - Continuação

Mês	Março - 1987					
	Profundidade do Solo (cm)					
Dia	01	05	10	20	30	50
01	55,0	47,2	39,4	30,0	27,0	26,6
02	53,2	50,2	37,6	29,6	27,2	26,6
03	47,6	44,8	38,4	30,0	27,2	26,6
04	51,8	45,2	38,2	30,2	27,6	26,8
05	31,8	45,0	37,6	30,4	27,6	27,0
06	46,0	42,6	37,2	30,8	28,0	27,0
07	38,0	37,2	34,0	29,4	27,4	27,0
08	27,2	26,8	25,6	26,2	26,4	26,6
09	25,6	26,2	25,2	24,2	24,4	25,4
10	-	-	-	-	-	-
11	31,6	29,8	27,4	24,5	24,2	24,8
12	28,6	28,5	26,3	23,6	23,8	24,8
13	32,3	31,7	28,6	24,5	23,8	24,5
14	28,2	28,0	26,6	24,0	23,8	24,5
15	32,2	31,0	28,4	24,8	23,8	24,4
16	37,6	33,0	28,6	24,6	23,8	24,6
17	39,6	33,5	28,4	25,0	24,2	24,8
18	40,8	35,0	29,7	25,3	24,2	24,9
19	32,6	32,0	28,2	24,8	24,4	24,8
20	22,0	25,8	27,2	24,8	24,0	24,7
21	34,2	30,2	28,2	25,0	24,0	24,4
22	34,4	31,4	29,9	25,3	24,0	24,6
23	33,0	31,0	30,0	25,4	24,2	24,7
24	34,4	30,3	27,8	24,6	24,0	24,6
25	33,0	30,8	29,2	25,0	24,0	24,6
26	39,2	31,4	29,4	25,6	24,4	24,8
27	35,0	30,4	28,2	25,2	24,6	25,0
28	41,6	32,6	29,2	25,4	24,4	25,0
29	40,0	31,8	29,2	25,4	24,6	25,0
30	42,6	33,2	30,2	26,0	25,0	25,2
31	46,2	36,0	31,4	27,0	25,4	25,4