

Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp.⁽¹⁾

Raquel Ghini⁽²⁾, Ivone Alberta Swart Schoenmaker⁽²⁾ e Wagner Bettiol⁽²⁾

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da solarização do solo, associada à incorporação de lodo de esgoto, cama-de-frango e casca de *Pinus*, no controle de *Pythium* spp. Foram conduzidos dois ensaios, um em área cultivada comercialmente com crisântemo e outro em área artificialmente infestada com *Pythium* spp. em cultivo de pepino. A adição de cama-de-frango induziu a supressividade do solo ao patógeno, visto que resultou em maiores temperaturas no solo solarizado, aumento na condutividade elétrica e maior atividade microbiana do solo, avaliada pela hidrólise de diacetato de fluoresceína e desprendimento de CO₂. Por outro lado, o lodo de esgoto e a casca de *Pinus* não induziram a supressividade ao patógeno. A solarização não teve efeito no crescimento da parte aérea e no peso de matéria fresca de raízes de plantas de crisântemo, mas teve efeito significativo no controle do patógeno no ensaio conduzido com pepino.

Termos para indexação: *Dendranthema morifolium*, *Cucumis sativus*, *Pinus*, cama-de-frango, biossólido, tratamento do solo.

Soil solarization in combination with organic matter for the control of *Pythium* spp.

Abstract – The objective of this work was to evaluate the effect of soil solarization in combination with sewage sludge, chicken litter and *Pinus* bark added to soil for the control of *Pythium* spp. Two field experiments with chrysanthemum and cucumber were carried out in two soils: one commercially cultivated with chrysanthemum and in the other artificially infested with *Pythium* spp. The effects of the treatments were evaluated by measuring electrical conductivity, pH, microbial activity of soil as well as shoot growth and root fresh weight of chrysanthemum plant. The chicken litter induced suppressiveness to the pathogen due to higher soil temperatures, enhanced electrical conductivity, and increased microbial activity, which was evaluated by diacetate fluorescein hydrolysis and CO₂ emission. On the other hand, the sewage sludge and the *Pinus* bark did not induce pathogen suppressiveness. Solarization did not affect plant shoot growth nor root fresh weight of chrysanthemum plants, but it significantly controlled the pathogen in the experiment with cucumber.

Index terms: *Dendranthema morifolium*, *Cucumis sativus*, *Pinus*, chicken litter, biosolids, soil treatment.

Introdução

Entre os patógenos veiculados pelo solo, o gênero *Pythium* encontra-se entre os mais frequentes, especialmente em cultivos intensivos. A facilidade de disseminação via água de irrigação, substratos, mudas e implementos agrícolas contamina-

dos agravam o problema, colocando em risco a sustentabilidade do sistema agrícola (Jarvis, 1992).

O controle preventivo é o mais recomendado, evitando-se a entrada do patógeno na área, haja vista que uma vez introduzido no solo, tanto a convivência, quanto a sua erradicação apresentam problemas, decorrentes dos poucos métodos de controle disponíveis, e das suas desvantagens. O principal método físico utilizado é o uso de vapor, porém, o custo do tratamento o torna viável somente para cultivo protegido (Ghini, 1998).

O tratamento de solo com produtos químicos envolve o uso de fumigantes, como brometo de metila, que é altamente tóxico e é empregado como biocida,

⁽¹⁾ Aceito para publicação em 13 de maio de 2002.

⁽²⁾ Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental, Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna, SP. Bolsista do CNPq. E-mail: raquel@cnpmembrapa.br, iks@holnet.com.br, bettiol@cnpmembrapa.br

exigindo, por isso, cuidados quanto à segurança do aplicador. Como o brometo de metila também possui ação destruidora da camada de ozônio da estratosfera terrestre, o cancelamento do seu registro para o tratamento de solo ocorrerá dentro de poucos anos. Além disso, a desinfestação com o brometo de metila promove a formação de vácuos biológicos. Assim, há maior facilidade de reinfestação do solo tratado, em decorrência da eliminação de sua microbiota. Fungicidas específicos também podem ser utilizados na forma de regas do solo (Kimati et al., 1997). Porém, os impactos ambientais resultantes dessa prática podem apresentar diversos problemas, pois para atingir o alvo e obter um controle adequado, há a necessidade de tratamento de todo o solo a ser explorado pelas raízes.

Entre os métodos alternativos para o controle desses patógenos, a solarização desenvolvida por Katan et al. (1976) vem sendo utilizada em diversos países (Katan & DeVay, 1991). O método consiste na cobertura do solo úmido com uma película de plástico transparente, antes do plantio, durante o período de maior radiação solar. O aquecimento das camadas de solo induz processos microbianos que promovem o controle de fitopatógenos, de forma a alterar a microbiota em favor de antagonistas, tornando o solo supressivo (Katan & DeVay, 1991). A solarização pode ser beneficiada pela integração com outros métodos de desinfestação, como, por exemplo, métodos químicos e biológicos. A combinação da solarização com a incorporação de fontes de matéria orgânica tem sido usada com sucesso na biofumigação do solo na desinfestação de campos, ou mesmo no preparo de substratos (Stapleton & DeVay, 1995).

A utilização de fontes de matéria orgânica pode melhorar as características físico-químicas do solo, aumentar a comunidade microbiana, e ainda ter efeito no controle de doenças das plantas. O uso de compostos orgânicos no controle de doenças das plantas tem mostrado que os níveis de controle variam de acordo com o patossistema e com o tipo de composto orgânico empregado, tais como: origem do material a ser compostado, método de compostagem, estágio de maturação do composto, e composição populacional dos microrganismos decompositores do material orgânico, entre outros fatores (Hoitink & Fahy, 1986).

A disposição final de resíduos urbano-industriais na agricultura é fundamental para a sustentabilidade, pois, conforme as suas características, colaboram com a ciclagem de nutrientes e com o fornecimento de matéria orgânica. Dentre as fontes disponíveis de matéria orgânica, o lodo de esgoto constitui uma fonte de nutrientes, o qual aumenta a produtividade de diversos solos agrícolas (Lewis et al., 1992). O crescente volume de lodo de esgoto disponível nas estações de tratamento de esgoto (ETE) torna necessária a busca de uma utilização viável desse material. Para uso na agricultura, são necessários testes para determinar seus efeitos no agroecossistema, especialmente quanto às características físico-químicas e biológicas do solo, e dentre elas o controle de fitopatógenos (Bettiol & Camargo, 2000).

Outros materiais podem ser utilizados, como o composto de casca de madeira usado no cultivo de *Poinsettia*, que se apresentou supressivo a *Pythium* spp. e ao fungo *Rhizoctonia solani*. A utilização desse material poderia, eventualmente, eliminar o tratamento com vapor e a utilização de fungicidas no solo (Daft et al., 1979).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da solarização do solo associada à incorporação de fontes de matéria orgânica no controle de *Pythium* spp.

Material e Métodos

Dois experimentos foram conduzidos com a associação de solarização e fontes de matéria orgânica, o primeiro numa área comercialmente cultivada com crisântemos de corte, localizada no Município de Santo Antônio de Posse, SP (latitude 22°37' Sul, longitude 46° Oeste), e o segundo, em área experimental da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental (Jaguariúna, SP, latitude 22°41' Sul, longitude 47° Oeste). No primeiro experimento, foi observada a ocorrência de *Pythium ultimum* Trow var. *ultimum* Plaats-Niterink e *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp. No segundo experimento, foram obtidos isolados de *P. aphanidermatum* e *P. graminicola* Subramaniam.

Os tratamentos se constituíram da combinação de dois fatores: solarização (solarizado ou não) e fontes de matéria orgânica (lodo de esgoto da ETE-Franca, cama-de-frango, casca de *Pinus*, e sem matéria orgânica). As três matérias orgânicas foram escolhidas por causa das diferenças quan-

to à relação C/N, além da disponibilidade na região (Tabela 1).

No primeiro experimento, realizado em área comercialmente cultivada com crisântemo, as fontes de matéria orgânica foram incorporadas ao solo com enxada, até a profundidade de 20 cm, na quantidade de 1 kg matéria seca/m², juntamente com a solarização, que consistiu na cobertura do solo úmido com uma película de plástico de polietileno transparente com 100 µm de espessura. O período de solarização foi de 11 de fevereiro a 17 de maio de 1999, de acordo com Ghini et al. (1994). Durante a solarização, a temperatura do solo foi registrada em intervalos de uma hora, na profundidade de 10 cm, com auxílio de "data loggers", com uma repetição por tratamento. Após os tratamentos, foi feito o cultivo de crisântemo, segundo o método convencional da região, porém sem aplicação de fungicidas via solo.

As parcelas foram constituídas por dois canteiros, cada um com 1,2 m de largura e 6 m de comprimento, com espaçamento de 40 cm. O delineamento experimental adotado foi o casualizado em blocos, com três repetições.

As amostras de solo (0-20 cm) foram coletadas, com auxílio de um trado com 2 cm de diâmetro, e foram obtidas 15 subamostras em cada canteiro de cada parcela, totalizando duas amostras compostas, por parcela. As coletas foram realizadas antes da solarização e da incorporação das diferentes fontes de matéria orgânica, e 15, 35, 91 e 138 dias após incorporação de matéria orgânica. A coleta no 15º dia foi feita durante a solarização, com a retirada e imediata recolocação do plástico. A coleta no 35º dia foi feita após o término da solarização. O plantio do crisântemo, variedade Polaris, foi realizado 50 dias após a incorporação das matérias orgânicas.

Tabela 1. Atributos das fontes de matéria orgânica avaliadas para o controle de *Pythium* spp., em pepino e crisântemo.

Atributo	Cama-de-frango	Casca de <i>Pinus</i>	Lodo de esgoto
N (%)	3,15	1,07	5,00
P ₂ O ₅ (g/kg)	28,5	1,8	30,5
K ₂ O (g/kg)	19,40	1,10	0,76
Ca (g/kg)	14,8	0,5	12,5
Mg (g/kg)	5,00	0,66	2,30
S (g/kg)	10,0	3,6	32,0
Fe (mg/kg)	1.100	975	38.500
Mn (mg/kg)	470	160	295
Cu (mg/kg)	99	38	245
Zn (mg/kg)	405	45	1.000
B (mg/kg)	110	550	310
Na (g/kg)	2,80	0,34	0,44
Matéria orgânica (%)	83,45	93,00	64,60
Cinzas (%)	16,55	7,00	35,40
Umidade (%)	23,65	61,12	81,45
pH (água 1:2,5)	6,5	5,4	6,1
Relação C/N	15/1	50/1	7/1

Os solos amostrados foram analisados quanto ao teor de umidade, pH, condutividade elétrica (Embrapa, 1997) e atividade microbiana (hidrólise de diacetato de fluoresceína e desprendimento de CO₂). Também foram feitas avaliações quanto à incidência de *Pythium* spp. no solo e ocorrência de plantas invasoras, resistência do solo à penetração, altura das plantas e peso da matéria seca do sistema radicular do crisântemo.

Além da avaliação da ocorrência de plantas de crisântemo com sintomas de murcha e podridão-radicular, seguida de isolamentos em laboratório, a população de *Pythium* spp. no solo também foi avaliada pelo método descrito por Lourd et al. (1986), o qual consiste na colocação da mistura do solo, a ser avaliado, acrescido de farelo de aveia ao nível do colo de plântulas de pepino em estádio de cotilédones abertos, cultivadas em solo esterilizado. Foram utilizados dois vasos de 600 mL para cada amostra composta de solo. Os vasos com plântulas de pepino foram mantidos em casa de vegetação, e a avaliação foi realizada pela contagem de plântulas tombadas e isolamento do patógeno.

A atividade microbiana do solo foi avaliada por meio dos métodos de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) conforme Boehm & Hoitink (1992) e Ghini et al. (1998) e do desprendimento de CO₂ (Grisi, 1978).

A avaliação da ocorrência de plantas invasoras foi realizada imediatamente após o término da solarização numa área de 0,75 m², em três repetições por parcela, e determinou-se o peso de matéria fresca e seca. A resistência à penetração do solo foi determinada com o auxílio de penetrômetro manual.

A altura da parte aérea e o peso do sistema radicular do crisântemo foram avaliados em cinco plantas por parcela, 119 dias após a incorporação das fontes de matéria orgânica. Durante o período de colheita foram realizadas avaliações da qualidade e produtividade de flores nos diferentes tratamentos.

No segundo experimento, para infestação de uma área da Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental, anteriormente cultivada com *Brachiaria*, 15 kg de solo infestado com *Pythium* spp., obtido em cultivo comercial de crisântemo, adicionados a 400 g de farelo de aveia por m² (Lourd et al., 1986) foram incorporados ao solo. Após a infestação, foram incorporadas manualmente 1 kg de matéria seca/m² das diferentes fontes de matéria orgânica, até a profundidade aproximada de 10 cm (Tabela 1). A solarização foi realizada com uma película de plástico de polietileno transparente (50 µm de espessura), durante o período de 22 de setembro a 3 de novembro de 1999. Esse período, segundo Ghini et al. (1994), é adequado para a solarização nessa região.

Cada parcela tinha 3 m², delineamento experimental em parcelas subdivididas, casualizado em blocos, com três repetições, de forma que os tratamentos solarizados foram agrupados, e a película de plástico foi estendida numa área de 3,5x7 m por bloco, com a finalidade de eliminar o efeito de borda (Grinstein et al., 1995).

Amostras de solo foram coletadas após o período de solarização, para avaliação da atividade microbiana, conforme referido.

A semeadura de pepino híbrido Safira foi feita logo após a retirada do plástico, em quatro linhas por parcela, com espaçamento de 15 cm entre linhas e 8 cm entre plantas, totalizando 35 sementes por linha. Apesar do uso de lodo de esgoto ser proibido em hortaliças pela norma P4230 da Cetesb (Cetesb, 1999), o pepino foi utilizado neste estudo como indicador para o controle de *Pythium*.

O controle do patógeno foi determinado avaliando-se o número de plantas sadias por parcela, 15 dias após a semeadura. Além disso, foram feitos isolamentos de *Pythium* spp. dos solos das parcelas, pela técnica descrita por Hine & Luna (1963) modificada. Para tanto, cubos de batata (3 mm) foram mergulhados em suspensão contendo sulfato de estreptomicina (100 µg/mL) e benomyl (20 µg/mL), durante uma hora, e colocados nos solos dos diferentes tratamentos, contidos em placas de Petri e incubados a 31°C por 12 a 15 horas. Em seguida, os cubos foram removidos, lavados em água de torneira, e plaqueados em ágar-água suplementado com estreptomicina (100 µg/mL) e benomyl (20 µg/mL). A avaliação foi realizada pela determinação da porcentagem de recuperação do

patógeno nos cubos. Foram colocados 10 cubos de batata por placa, em três repetições.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS (SAS Institute, 1993).

Resultados e Discussão

A solarização promoveu um significativo aumento na temperatura do solo a 10 cm de profundidade, especialmente durante a segunda quinzena de solarização (Tabela 2). O aumento de temperatura foi de pelo menos 10°C, em relação aos tratamentos não-solarizados. Com relação ao efeito das fontes de matéria orgânica no aquecimento do solo, foi observado que as maiores temperaturas máximas ocorreram no solo solarizado com adição de cama-de-frango. A adição de matéria orgânica também propiciou aumento da temperatura máxima média dos solos não-solarizados.

No ensaio com crisântemo, a umidade inicial do solo antes dos tratamentos foi de 17,55%. Na avaliação realizada durante a solarização (15 dias), não havia diferenças entre os tratamentos. Entretanto, ao final da solarização (35 dias), os tratamentos solarizados apresentaram maiores teores de umidade (19,60%) do que os não-solarizados (16,39%). Com o decorrer do ciclo da cultura, por causa das irrigações, os tratamentos não diferiram entre si. Da mesma forma, no ensaio com pepino, ao final da solarização,

Tabela 2. Efeito da solarização e fontes de matéria orgânica nas temperaturas máximas do solo e no número de horas em que as temperaturas superaram 36, 38 e 40°C, durante a primeira quinzena (de 12 a 24 de fevereiro) e a segunda quinzena (3 a 17 de março) de 1999 de solarização, na profundidade de 10 cm, no ensaio em área comercialmente cultivada com crisântemo.

Solarização	>36°C		>38°C		>40°C		Temperatura máxima	
	Primeira quinzena	Segunda quinzena	Primeira quinzena	Segunda quinzena	Primeira quinzena	Segunda quinzena	Absoluta	Média
	(duração em horas)						(°C)	
Testemunha								
Não	7	0	1	0	0	0	38,2	31,9
Sim	131	156	92	116	58	88	48,3	43,1
Lodo de esgoto								
Não	8	8	0	0	0	0	37,6	33,2
Sim	142	180	107	132	80	104	49,5	44,3
Cama-de-frango								
Não	11	1	1	0	0	0	38,2	32,7
Sim	134	193	99	148	66	120	51,4	46,2
Casca de <i>Pinus</i>								
Não	11	10	1	0	0	0	38,2	33,4
Sim	146	180	99	129	69	106	48,3	44,2

os teores de umidade dos solos dos tratamentos solarizados e não-solarizados foram de 12,31% e 5,94%, respectivamente. Os maiores teores de umidade do solo solarizado permitem a germinação de propágulos de resistência dos patógenos, tornando-os mais sensíveis à ação da temperatura, além de garantir as condições necessárias para as alterações microbianas ocorridas durante o tratamento (Katan & DeVay, 1991). As fontes de matéria orgânica não apresentaram efeito no teor de umidade dos solos.

Antes do início do primeiro ensaio, bem como no seu final, os tratamentos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas quanto ao pH, com valores entre 6,9 e 7,4. No 15º dia, a avaliação de pH resultou numa interação significativa entre os fatores solarização e matéria orgânica, e os tratamentos com lodo de esgoto (6,9) e cama-de-frango (6,9) nos solos não-solarizados apresentaram uma redução de pH que diferiu significativamente dos tratamentos com casca de *Pinus* (7,2) e testemunha (7,5). Nessa mesma data, nos solos que receberam cama-de-frango, houve maior redução de pH no tratamento não-solarizado do que no solarizado (6,9 e 7,2, respectivamente). Em todas as avaliações realizadas quanto à condutividade elétrica, os solos que receberam a incorporação de casca de *Pinus* não diferiram do controle, e os solos solarizados e com incorporação de cama-de-frango e lodo de esgoto, aos 15 e 35 dias apresentaram maior condutividade do que os não-solarizados (Tabela 3).

A condutividade elétrica pode ter efeito significativo no controle de *Pythium* spp. Assim, Martin & Hancock (1986) concluíram que a supressividade de solos a *P. ultimum* ocorre por causa do aumento na salinidade quando concentrações de Cl chegam a níveis que inibem suas atividades saprofíticas, favorecendo a habilidade competitiva saprofítica de *P. oligandrum* (antagonista de *P. ultimum*) e aumentando então sua população. A ocorrência da supressividade a *P. ultimum* depende da densidade do inóculo e da textura do solo, o que está relacionado à predisposição do tipo de solo a problemas de salinidade.

A atividade microbiana do solo, avaliada por meio da hidrólise de diacetato de fluoresceína e desprendimento de CO₂, nos dois ensaios, de modo geral, foi maior com a incorporação de cama-de-frango

Tabela 3. Efeito do lodo de esgoto (LE), de cama-de-frango (CF), da casca de *Pinus* (CP) e da testemunha (T) na condutividade elétrica, na hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) e no desprendimento de CO₂ no primeiro ensaio realizado numa área comercialmente cultivada com crisântemo⁽¹⁾.

Período (dias)	Solarização	LE	CF	CP	T	Média
Condutividade elétrica (mS/cm) ⁽²⁾						
0	Não	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Sim	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
	Média	0,80	0,80	0,80	0,80	-
15	Não	0,15	0,19	0,09	0,09	0,13b
	Sim	0,19	0,30	0,11	0,11	0,18a
	Média	0,17B	0,25A	0,10C	0,10C	-
35	Não	0,15aB	0,16aB	0,09aA	0,08aA	0,12
	Sim	0,36bB	0,59bC	0,18bA	0,19bA	0,33
	Média	0,25	0,37	0,13	0,13	-
91	Não	0,11	0,12	0,10	0,10	0,11
	Sim	0,11	0,12	0,09	0,09	0,10
	Média	0,11A	0,12A	0,09B	0,09B	-
138	Não	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10
	Sim	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10
	Média	0,11	0,10	0,10	0,10	-
Hidrólise do FDA (µg/g de solo seco) ⁽³⁾						
0	Não	17,30	20,74	22,45	18,24	19,68
	Sim	19,20	20,97	18,19	19,56	19,48
	Média	18,25	20,86	20,32	18,90	-
15	Não	20,02	31,25	10,88	8,47	17,66
	Sim	21,48	33,13	6,21	6,86	16,92
	Média	20,75B	32,19A	8,55C	7,66C	-
35	Não	14,14	20,56	14,59	10,42	14,93a
	Sim	11,70	16,34	7,28	10,90	11,56b
	Média	12,92B	18,45A	10,93C	10,66C	-
91	Não	10,41	11,14	11,04	10,08	10,67
	Sim	12,32	12,90	6,08	9,61	10,22
	Média	11,36	12,02	8,56	9,84	-
138	Não	13,38	18,68	15,55	13,28	15,22a
	Sim	10,68	14,40	14,93	13,13	13,29b
	Média	12,03B	16,54A	15,24A	13,21B	-
Desprendimento de CO ₂ (mg/g solo seco) ⁽⁴⁾						
0	Não	(5)	-	-	-	-
	Sim	-	-	-	-	-
	Média	-	-	-	-	-
15	Não	0,47aB	0,90aA	0,69bB	0,25bC	0,58
	Sim	0,44aB	1,12A	0,29aC	0,19aD	0,51
	Média	0,46	1,01	0,49	0,22	-
35	Não	0,27aA	0,32bA	0,30aA	0,21aB	0,27
	Sim	0,31aB	0,68aA	0,26aBC	0,21aC	0,37
	Média	0,29	0,50	0,28	0,21	-
91	Não	0,33	0,42	0,48	0,37	0,40
	Sim	0,36	0,42	0,47	0,31	0,39
	Média	0,34C	0,42B	0,48A	0,34C	-
138	Não	0,27	0,34	0,49	0,30	0,35
	Sim	0,28	0,34	0,30	0,28	0,30
	Média	0,28B	0,34AB	0,40A	0,29B	-

⁽¹⁾Dentro de cada período de avaliação, médias seguidas da mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Dados transformados em x⁻² e logx, referentes aos períodos de 15 e 35 dias, respectivamente. ⁽³⁾Dados transformados em logx, relativos ao período de 15 dias. ⁽⁴⁾Dados transformados em x⁻², relativos aos períodos de 15 e 31 dias, e em 1/x relativos a 138 dias. ⁽⁵⁾Dados não obtidos porque as amostras de solo foram coletadas antes da aplicação das fontes de matéria orgânica.

do que com as demais fontes de matéria orgânica (Tabelas 3 e 4). Isso foi motivado pela relação C/N associada ao alto teor de matéria orgânica da cama-de-frango (Tabela 1), porque havia matéria orgânica decomponível e N suficiente para a sua decomposição. Este fato demonstra a fácil degradabilidade da matéria orgânica da cama-de-frango. O lodo de esgoto estimulou a atividade microbiana nos primeiros 15 dias, e aumentou tanto a hidrólise de FDA quanto o desprendimento de CO₂, fato, este, que está relacionado com a origem microbiana de sua matéria orgânica (Tabela 3). A casca de *Pinus* reduziu a atividade microbiana do solo, avaliada pela hidrólise de FDA, dos 15 aos 91 dias, voltando a aumentar depois desse período, graças, provavelmente, a uma redução na relação C/N, pois a sua matéria orgânica é de lenta decomposição (Tabela 3). Os efeitos do lodo de esgoto e da casca de *Pinus* na atividade microbiana não foram observados no ensaio com infestação do solo, pois as avaliações foram realizadas apenas em uma época, isto é, 42 dias após a incorporação, tempo insuficiente para a ação da casca de *Pinus*, e longo, para observação do efeito do lodo (Tabela 4).

Logo após a retirada da película de plástico, as parcelas solarizadas do experimento realizado em área comercialmente cultivada com crisântemo não apresentaram plantas invasoras, ao passo que as parcelas não-solarizadas apresentaram, em média, o peso de matéria fresca e seca de 155,02 e 40,89 g/m², respectivamente. Esses dados estão de acordo com os de Bettiol et al. (1994), em trabalho realizado com solarização para controle de *Pythium* e plantas invasoras, em cultivo de crisântemo, no Município de Holambra, SP. As fontes de matéria orgânica não diferiram quanto a essa variável.

Os solos solarizados não diferiram dos não-solarizados, quanto à resistência à penetração, porém, o lodo de esgoto e a casca de *Pinus* aumentaram a resistência à penetração dos solos, em relação aos demais tratamentos (Tabela 5).

Não houve a ocorrência de *Pythium* na cultura de crisântemo, possivelmente em vista das condições climáticas, e foi então utilizado o método de Lourd et al. (1986), segundo o qual, plântulas de pepino atuam como indicadoras da presença do patógeno nos solos. A incorporação de cama-de-frango controlou significativamente o tombamento, em todos os períodos avaliados, exceto 91 dias após a incorporação de matéria orgânica (Tabela 6). A baixa por-

Tabela 4. Efeito da solarização e de fontes de matéria orgânica na atividade microbiana do solo, avaliada pela hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) e pelo desprendimento de CO₂, nas porcentagens de plantas sadias de pepino e de recuperação de *Pythium* no solo, no segundo ensaio, realizado na área artificialmente infestada, com cultura de pepino⁽¹⁾.

Tratamento	Lodo de esgoto	Cama-de-frango	Casca de <i>Pinus</i>	Testemunha	Média
Hidrólise do FDA (µg/g de solo seco)					
Não-solarizado	25,20	39,12	25,46	22,51	28,07a
Solarizado	16,64	28,62	22,27	18,34	21,47b
Média	20,92B	33,87A	23,86B	20,43B	
Desprendimento de CO ₂ (mg/g de solo seco) ⁽²⁾					
Não-solarizado	0,23	0,38	0,21	0,18	0,25b
Solarizado	0,38	1,05	0,39	0,38	0,55a
Média	0,30B	0,71A	0,30B	0,28B	
Plantas sadias de pepino (%) ⁽³⁾					
Não-solarizado	14,06bB	25,00bA	8,57bB	28,80bA	19,08
Solarizado	84,51aAB	91,20aA	82,62aAB	77,85aB	84,02
Média	49,28	58,08	45,60	53,31	
Recuperação de <i>Pythium</i> spp. (%) ⁽⁴⁾					
Não-solarizado	90,0aAB	76,6AC	92,2aA	90,0aAB	87,2
Solarizado	3,3bA	13,3bA	13,3bA	8,8bA	9,7
Média	46,6	45,0	52,7	49,4	

⁽¹⁾Para cada variável avaliada, médias de solarização seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e médias de matéria orgânica seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Dados transformados em logx. ⁽³⁾Dados transformados em x + 1. ⁽⁴⁾Recuperação pelo método de iscas de cubos de batata. Dados originais (número de cubos de batata com *Pythium* spp.) transformados em x + 1.

Tabela 5. Efeito de fontes de matéria orgânica e da solarização na resistência à penetração do solo, altura das plantas e peso da matéria fresca de raízes de crisântemo, no primeiro ensaio, realizado numa área cultivada comercialmente com crisântemo⁽¹⁾.

Solarização	Lodo de esgoto	Cama-de-frango	Casca de <i>Pinus</i>	Testemunha	Média
Resistência à penetração do solo (kgf/cm ²)					
Não	0,86	0,48	1,04	0,45	0,71a
Sim	1,52	0,28	0,98	0,35	0,78a
Média	1,19A	0,38B	1,01A	0,40B	
Altura das plantas (cm)					
Não	110,00	114,63	112,53	108,53	111,33a
Sim	113,66	116,53	110,63	113,60	113,60a
Média	111,83A	115,58A	111,40A	111,06A	
Peso de raízes (g/planta)					
Não	4,32	5,26	4,72	5,23	4,88a
Sim	5,03	5,39	4,55	5,47	5,11a
Média	4,67A	5,33A	4,63A	5,35A	

⁽¹⁾Para cada variável avaliada, médias de solarização seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e médias de matéria orgânica seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

centagem de tombamento de plântulas aos 91 dias foi devida às condições climáticas desfavoráveis ao patógeno, que resultou na ausência de diferenças significativas entre os tratamentos.

A solarização controlou significativamente a doença, no ensaio com a infestação do solo, quando foram avaliadas as porcentagens de plantas sadias de pepino e de recuperação de *Pythium* spp. (Tabela 4). Esses resultados estão de acordo com os de Bettiol et al. (1994), de acordo com os quais a solarização foi um eficiente método de controle do patógeno. Por outro lado, Patricio (2000) verificou que *Pythium aphanidermatum* não foi consistentemente controlado pela solarização, embora em alguns experimentos tenha ocorrido redução na viabilidade do patógeno nas camadas mais superficiais do solo e favorecido na profundidade de 20 cm.

A condutividade elétrica apresentou correlação positiva com a hidrólise de FDA ($r = 0,86^{**}$) e desprendimento de CO_2 ($r = 0,75^{**}$), e negativa, com o tombamento de plântulas de pepino ($r = -0,81^{**}$); e o desprendimento de CO_2 e a hidrólise de FDA foram negativamente correlacionados com o tombamento de plântulas ($r = -0,74^{**}$ e $r = -0,73^{**}$, respectivamente), nas avaliações realizadas 15 dias após a incorporação

da matéria orgânica, no ensaio instalado em área comercial de crisântemo. O pH não apresentou correlação com as demais variáveis. Ghini et al. (1998) também verificaram que o crescimento micelial de *R. solani* foi negativamente correlacionado com a atividade microbiana e com o teor de matéria orgânica dos solos.

A incorporação de cama-de-frango resultou em maiores temperaturas no solo solarizado (Tabela 2), aumento na condutividade elétrica (Tabela 3), maior atividade microbiana do solo (Tabelas 3 e 4), além de controle do patógeno (Tabelas 4 e 6). As alterações observadas no solo, após o tratamento com cama-de-frango, podem ter sido as causas da indução de supressividade, que resulta na prevenção do estabelecimento do patógeno ou na inibição de suas atividades. A denominação “solo supressivo a patógenos” não significa necessariamente a eliminação do patógeno do solo, mas a supressão da doença (Reis, 1991). Os mecanismos envolvidos na supressividade podem ser: fungistase; pouca habilidade competitiva saprofítica do patógeno; antibiose; ou outra forma de controle biológico. Solos intensamente cultivados frequentemente não apresentam fatores biológicos que possam torná-los supressivos, mas a adição de organismos apropriados pode alterar suas características. A adição de fontes de matéria orgânica, como turfa, adubo verde e materiais orgânicos compostados, pode manter populações mistas de organismos antagonistas (Jarvis, 1992).

Katan & DeVay (1991) constataram, de modo geral, maior desenvolvimento de plantas em solos solarizados. Porém, no presente trabalho não houve diferença quanto à altura das plantas e o peso da matéria fresca do sistema radicular, nem nas avaliações quanto à qualidade de flores e à produtividade do crisântemo entre os diferentes tratamentos (Tabela 5). Provavelmente, esse fato se deve à não-ocorrência da doença e à intensa fertilização que a cultura recebe durante o ciclo, eliminando as possíveis diferenças entre os tratamentos.

Foi demonstrado, mais uma vez, que a qualidade da matéria orgânica é fundamental para obter indução de supressividade a *Pythium*. Estes resultados estão de acordo com Hoitink & Fahy (1986).

Tabela 6. Efeito de fontes de matéria orgânica e da solarização na sobrevivência de *Pythium* spp., avaliada pela porcentagem de tombamento de mudas de pepino, após diferentes períodos de incorporação de matéria orgânica, em solo do primeiro ensaio, realizado em área cultivada comercialmente com crisântemo⁽¹⁾.

Solarização	Lodo de esgoto	Cama-de-frango	Casca de <i>Pinus</i>	Testemunha	Média
Incorporação durante 15 dias					
Não	100,00	73,16	96,16	99,16	92,12a
Sim	93,36	29,16	98,96	98,23	79,93a
Média	96,68A	51,16B	97,56A	98,70A	
Incorporação durante 35 dias ⁽²⁾					
Não	100,00	58,40	98,96	100,00	89,34a
Sim	100,00	71,50	100,00	98,20	92,42a
Média	100,00A	64,95B	99,48A	99,10A	
Incorporação durante 91 dias ⁽³⁾					
Não	45,43	27,96	16,66	37,03	31,77a
Sim	34,23	29,16	33,33	20,00	29,18a
Média	39,83A	28,56A	25,00A	28,51A	
Incorporação durante 138 dias					
Não	73,86	41,90	58,23	81,50	63,87a
Sim	45,63	36,56	50,06	77,00	52,31a
Média	59,75A	39,23C	54,15BC	79,25A	

⁽¹⁾Dentro de período de avaliação, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ⁽²⁾Dados transformados em $x^{7,2}$. ⁽³⁾Dados transformados em $(x + 1)^{0,1}$.

Conclusões

1. A adição de cama-de-frango ao solo induz supressividade a *Pythium*.
2. A solarização do solo, independentemente da adição de matéria orgânica, é eficiente no controle de *Pythium*.
3. A qualidade da matéria orgânica é fundamental na indução da supressividade do solo a *Pythium*.
4. O lodo de esgoto e a casca de *Pinus*, nas concentrações estudadas, não induzem a supressividade do solo a *Pythium*.

Agradecimentos

À Dra. Carmen Pires Zottarelli, do Instituto de Botânica de São Paulo, pela identificação do patógeno; ao Prof. Dr. Tadeu dos Santos Dias, pela colaboração nas análises estatísticas.

Referências

- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 2000. 312 p.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J. A. H. Solarização do solo para o controle de *Pythium* e plantas daninhas em culturas de crisântemo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 459-462, 1994.
- BOEHM, M. J.; HOITINK, H. A. J. Sustenance of microbial activity in potting mixes and its impact on severity of *Pythium* root rot of poinsettia. **Phytopathology**, St. Paul, v. 82, n. 3, p. 259-264, 1992.
- CETESB (São Paulo, SP). **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas**: critérios para projeto e operação: manual técnico, norma P 4230, agosto 1999. São Paulo: Cetesb, 1999. 32 p.
- DAFT, G. C.; POOLE, H. A.; HOITINK, H. A. J. Composted hardwood bark: a substitute for steam sterilization and fungicide drenches for control of poinsettia crown and root rot. **HortScience**, Alexandria, v. 14, n. 2, p. 185-187, 1979.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- GHINI, R. Solarização do solo. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Org.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições subtropicais. São Paulo: Unesp, 1998. p. 31-52.
- GHINI, R.; MENDES, M. D. L.; BETTIOL, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 24, n. 3/4, p. 239-242, 1998.
- GHINI, R.; PARAIBA, L. C.; LIMA, M. W. P. Determinação de período para solarização do solo na região de Campinas/SP. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 20, n. 2, p. 131-133, 1994.
- GRINSTEIN, A.; KRITZMAN, G.; HETZRONI, A.; GAMLIEL, A.; MOR, M.; KATAN, J. The border effect of soil solarization. **Crop Protection**, Guildford, v. 14, n. 4, p. 315-320, 1995.
- GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 82-88, 1978.
- HINE, R. B.; LUNA, L. V. Technique for isolating *Pythium aphanidermatum* from soil. **Phytopathology**, St. Paul, v. 53, p. 727-728, 1963.
- HOITINK, H. A. J.; FAHY, P. C. Basis for the control of soilborne plant pathogens with compost. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 24, p. 93-114, 1986.
- JARVIS, W. R. **Managing diseases in greenhouse crops**. 2. ed. St. Paul: APS Press, 1992. 288 p.
- KATAN, J.; DEVAY, J. E. **Soil solarization**. Boca Raton: CRC Press, 1991. 267 p.
- KATAN, J.; GREENBERGER, A.; ALON, H.; GRINSTEIN, A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. **Phytopathology**, St. Paul, v. 66, p. 683-688, 1976.
- KIMATI, H.; GIMENES-FERNANDES, N.; SOAVE, J.; KUROSZAWA, C.; BRIGNANI NETO, F.; BETTIOL, W. **Guia de fungicidas agrícolas**. 2. ed. Jaboticabal: Grupo Paulista de Fitopatologia, 1997. 225 p.
- LEWIS, J. A.; LUMSDEN, R. D.; MILLNER, P. D.; KEINATH, A. P. Suppression of damping-off of peas and cotton in the field with composted sewage sludge. **Crop Protection**, Guildford, v. 11, n. 6, p. 260-266, 1992.
- LOURD, M.; ALVEZ, M. L. B.; BOUHOUT, D. Análise qualitativa e quantitativa de espécies de *Pythium* patogênicas dos solos no Município de Manaus.

- Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 11, p. 479-485, 1986.
- MARTIN, F. N.; HANCOCK, J. G. Association of chemical and biological factors in soils suppressive to *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 79, n. 11, p. 1221-1231, 1986.
- PATRICIO, F. R. A. **Solarização do solo em ambiente protegido e sua integração com controle biológico ou químico na viabilidade de *Pythium aphanidermatum* e *Rhizoctonia solani***. 2000. 89 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- REIS, E. M. Solos supressivos e seu aproveitamento no controle de doenças de plantas. In: BETTIOL, W. **Controle biológico de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa-CNPDA, 1991. p. 181-193.
- SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS/STAT user's guide**: version 6. 4. ed. Cary, 1993. 1686 p.
- STAPLETON, J. J.; DEVAY, J. E. Soil solarization: a natural mechanism of integrated pest management. In: REUVENI, R. (Ed.). **Novel approaches to integrated pest management**. Boca Raton: Lewis, 1995. p. 309-322.