

EFEITO DA SOLARIZAÇÃO SOBRE PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DE SOLOS⁽¹⁾

R. GHINI⁽²⁾, F.R.A. PATRICIO⁽³⁾, M.D. SOUZA⁽⁴⁾, C. SINIGAGLIA⁽³⁾, B.C. BARROS⁽³⁾,
M. E. B. M. LOPES⁽³⁾, J. TESSARIOLI NETO⁽⁵⁾ & H. CANTARELLA⁽⁶⁾

RESUMO

A solarização é um método de desinfestação que consiste na cobertura do solo com um filme de polietileno transparente, durante o período de intensa radiação solar, e atua por meio do aumento da temperatura do solo. Quatro ensaios foram realizados no estado de São Paulo, nos municípios de Mogi das Cruzes, Jarinu, Piracicaba e Itatiba, nos anos de 2000 e 2001, com o objetivo de avaliar os efeitos da solarização nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. A solarização reduziu significativamente a resistência à penetração dos solos nos ensaios de Jarinu, Piracicaba e Itatiba. Em Jarinu, oito meses após a retirada do plástico, as diferenças entre os tratamentos permaneceram. Por outro lado, em Mogi das Cruzes, onde o ensaio foi instalado em solo turfoso, a solarização causou aumento na resistência na camada de 2,5 a 5 cm de profundidade. Nos ensaios de Piracicaba e Jarinu, foram feitas avaliações de macro, microporosidade, porosidade total e densidade, não tendo os tratamentos diferido entre si, porém houve uma tendência de redução na densidade dos solos solarizados. A atividade microbiana, avaliada pela hidrólise de diacetato de fluoresceína, foi reduzida pela solarização. A supressividade a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* foi avaliada *in vitro*, pela colonização de amostras de solo usando um isolado marcado com resistência a benomyl, no ensaio de Mogi das Cruzes. A solarização reduziu a recuperação do patógeno, evidenciando um aumento da supressividade. Nos solos solarizados, houve aumento significativo dos teores de N-NH₄⁺ em todos os experimentos, Mn em três, N-NO₃⁻, Mg²⁺ e saturação por bases em dois e K⁺ em um experimento. Ocorreu redução dos teores de Cu, Fe e H + Al em dois experimentos e Zn em um ensaio. Segundo os resultados, a solarização promoveu alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, melhorando a estrutura, liberando nutrientes e aumentando a supressividade.

Termos de indexação: resistência à penetração, supressividade, controle físico.

⁽¹⁾ Parte do trabalho apresentado no XXXIV Congresso Brasileiro de Fitopatologia, São Pedro, agosto 2001. Trabalho financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em janeiro de 2002 e aprovado em setembro de 2002.

⁽²⁾ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente. Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna (SP). Bolsista do CNPq. E-mail: raquel@cnpma.embrapa.br

⁽³⁾ Pesquisador do Instituto Biológico. Caixa Postal 70, CEP 13001-970 Campinas (SP). E-mail: flavia@biologico.br; celso@biologico.br; bcbarrros@giologico.br; mebmlopes@yahoo.com

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente. Caixa Postal 69, CEP 13820-000 Jaguariúna (SP). E-mail: dornelas@cnpma.embrapa.br

⁽⁵⁾ Professor da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: jtessari@esalq.usp.br

⁽⁶⁾ Pesquisador do Instituto Agrônomo – IAC. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). E-mail: hcantare@iac.br

SUMMARY: *SOLARIZATION EFFECTS ON PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS*

*Solarization is a method for soil disinfection, taking effect by increased soil temperatures under soil covers of transparent polyethylene sheets during the period of intense solar irradiation. Four field experiments were set up in the state of São Paulo, Brazil (districts of Mogi das Cruzes, Jarinu, Piracicaba and Itatiba), in the years 2000 and 2001, to evaluate the effects of soil solarization on physical, chemical and biological soil properties. Solarization caused a significant reduction in penetration resistance of the evaluated soils in Jarinu, Piracicaba, and Itatiba. In Jarinu, measurements carried out eight months after the removal of the plastic sheet showed that the effect of solarization on penetration resistance was still similar to that observed in the first evaluation. However, in Mogi das Cruzes, in an organic soil, solarization increased the soil's penetration resistance in the 2.5-5.0 cm layer. Solarization did not affect the macro-, micro- and total porosity of soils in Piracicaba and Jarinu, where these properties were measured, however it did reduce the apparent density. In an evaluation by fluorescein diacetate hydrolysis, the microbial activity in the soil proved to decrease by solarization. In Mogi das Cruzes, the suppressiveness to *Fusarium oxysporum f. sp. phaseoli* was evaluated in vitro by colonizing soil samples with an isolate marked with benomyl resistance. Solarization reduced the recovery of the pathogen, indicating an increase in suppressiveness. In solarized plots, there was a significant increase in the concentration of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in all experiments, of Mn in three, of $\text{NO}_3^-\text{-N}$, Mg^{2+} , and base saturation in two, and K^+ in one experiment. On the other hand, the concentration of Cu, Fe, and H + Al decreased in two places, and Zn in one. Results showed that solarization caused changes in physical, chemical and biological soil properties, improving the soil structure, releasing nutrients, and increasing disease suppressiveness.*

Index terms: resistance to penetration, suppressiveness, physical control.

INTRODUÇÃO

A solarização é um método de desinfestação do solo, que foi desenvolvido, em Israel, por Katan et al. (1976), e vem sendo utilizado em diversos países, incluindo o Brasil (Katan & DeVay, 1991; Souza, 1994; Ghini & Bettiol, 1995). A técnica consiste na cobertura do solo úmido, com um filme plástico transparente, antes do plantio, preferencialmente durante o período de maior incidência de radiação solar.

A solarização objetiva controlar fitopatógenos veiculados pelo solo. A cobertura com o plástico promove o aquecimento, especialmente das camadas superficiais do solo, inibindo ou eliminando organismos. Assim, parte da população de patógenos é morta em decorrência da elevação da temperatura. Todavia, apesar de a exposição direta dos patógenos ao calor ser importante fator, não é o único mecanismo envolvido no método. Os processos microbianos induzidos pela solarização contribuem para o controle de doenças, já que o aquecimento atua também sobre organismos não visados (Katan, 1981).

Geralmente, os microrganismos saprófitas do solo, dentre eles inúmeros antagonistas, são mais tolerantes ao calor do que os fitopatógenos. A mudança na microbiota do solo em favor de antagonistas aumenta a eficiência do controle,

especialmente nas camadas mais profundas do solo, já que o enfraquecimento dos propágulos dos patógenos pelas temperaturas subletais é seguido pelo ataque dos antagonistas (Lifshitz et al., 1983). Assim, uma vantagem do método é que essa mudança na população microbiana pode levar à supressividade a patógenos, tendendo a proteger o solo de uma reinfestação e garantindo um efeito mais duradouro do tratamento (Katan & DeVay, 1991).

Outros efeitos, porém, podem ser observados após o tratamento. Diversas plantas invasoras também podem ser controladas pela solarização (Bettiol et al., 1994). Em muitas hortas comerciais, a solarização está sendo utilizada apenas no controle das plantas invasoras, visto que significa uma redução de mão-de-obra, como no caso da alface (Sinigaglia et al., 2001).

O maior crescimento de plantas é freqüentemente observado nos solos solarizados, assim como maior produtividade. Esse efeito, que pode ocorrer mesmo na ausência de patógenos, deve-se a diversos processos desenvolvidos durante a solarização, que envolvem mudanças nos componentes bióticos e abióticos do solo (Katan & DeVay, 1991; Ghini et al., 1992; Gruenzweig et al., 1993). O maior crescimento é resultado do controle de pragas ou patógenos primários e, ou, secundários, alteração da comunidade

microbiana do solo em favor de antagonistas ou microrganismos promotores de crescimento, inativação térmica de plantas invasoras e liberação de nutrientes no solo, decorrentes da morte e decomposição de parte da microbiota.

Essas alterações, além de outras, como mudanças na composição gasosa do solo, liberação de substâncias voláteis, melhoria da estrutura e penetração profunda da umidade, constituem um processo integrado que altera o ambiente do solo, resultando em maior crescimento e produção de plantas (Katan, 1996). Apesar de serem esses efeitos freqüentemente observados, poucos trabalhos estudam e quantificam tais alterações físicas, químicas e biológicas causadas pela solarização.

O comportamento de cada tipo de solo em relação à solarização depende dos materiais constituintes, pois, segundo Prevedello (1996), a quantidade de calor que pode ser transferida por condução no solo depende da sua condutividade térmica e da quantidade de energia térmica que uma massa ou volume de solo armazena antes que sua temperatura se eleve (calor específico gravimétrico ou volumétrico). O tempo requerido para determinado solo aumentar a temperatura depende de como o calor é transmitido e do calor específico de cada fase constituinte do solo (sólida, líquida e gasosa). Por exemplo, a fração mineral do solo apresenta um calor específico gravimétrico aproximado de 712 J/(K kg), a orgânica de 1.926 J/(K kg), a água de 4.186 J/(K kg) e o ar de 1.005 J/(K kg). Portanto, para cada tipo de solo, tem-se um comportamento diferenciado na variação de temperatura.

Assim sendo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da solarização em características físicas, químicas e biológicas de solos em diferentes agroecossistemas. Dentre os fatores físicos, a resistência à penetração no solo após a solarização foi estudada por não haver relatos na literatura sobre

os efeitos do tratamento nessa característica. Além disso, também foram estudadas a porosidade e a densidade dos solos. A análise de fertilidade foi feita para verificar os efeitos nas características químicas. Os fatores biológicos estudados foram a atividade microbiana e a indução de supressividade a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*, que constitui um patógeno veiculado pelo solo de ocorrência cosmopolita.

MATERIAL E MÉTODOS

Quatro experimentos com a solarização do solo foram instalados no estado de São Paulo, nas regiões de Mogi das Cruzes, Jarinu, Piracicaba e Itatiba, nos anos de 2000 e 2001 (Quadro 1).

Mogi das Cruzes

O experimento foi instalado em uma área comercial, produtora de alface, infestada com *Sclerotinia minor* e *Rhizoctonia solani*, situada numa várzea drenada, com solo turfoso. O experimento foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se da combinação de dois fatores: solarização (solarizado ou não) e tratamento químico para *S. minor* e *R. solani* (duas aplicações de pencycuron na dose de 500 g ha⁻¹ de i.a.; duas aplicações de procimidone na dose de 600 g ha⁻¹ de i.a.; e sem tratamento químico), totalizando seis tratamentos.

Como o plantio de alface é realizado em canteiros, foram solarizadas parcelas com 4 m de largura, compostas por três canteiros de 1 m de largura e 20 cm entre os canteiros e 4 m de comprimento. O plástico, com espessura de 100 µm e com aditivo que absorve a radiação ultravioleta (UV) do sol, foi colocado sobre o solo em 21/12/1999 e retirado em

Quadro 1. Caracterização granulométrica dos solos

Ensaio	Profundidade	Análise textural				Textura
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
	cm	%				
Mogi das Cruzes	0-10	9,65	13,04	68,39	8,92	Franco-siltoso Franco
	10-20	19,45	25,41	39,30	15,85	
Jarinu	0-10	18,92	17,25	18,64	45,20	Argila Argila
	10-20	20,13	17,52	17,45	44,89	
Piracicaba	0-10	10,12	27,44	22,23	40,21	Argila Argila
	10-20	10,16	27,37	21,40	41,06	
Itatiba	0-10	21,84	19,06	34,70	24,40	Franco Franco
	10-20	19,71	17,16	40,60	22,53	

25/02/2000. A instalação do filme plástico foi feita manualmente, após preparo e irrigação do solo, eliminando-se galhos e outros materiais pontiagudos, para evitar danos capazes de prejudicar o tratamento. O plástico foi esticado e fixado, enterrando-se as bordas em sulcos no solo, cobrindo toda a área da parcela tratada. Durante a solarização, a temperatura foi registrada, a 10 cm de profundidade, no canteiro central de cada parcela.

Pencycuron é indicado para o controle de *R. solani* e procimidone para o controle de *Sclerotinia* spp., tendo sido as aplicações dos fungicidas efetuadas aproximadamente 15 e 30 dias após o transplante das mudas de alface, ocorrido em 3/03/2000.

A resistência à penetração do solo foi avaliada em 6/04/2000, com auxílio de um penetrômetro CP20 ultrasonic cone penetrometer (Rimik). Foram amostrados quatro locais em cada parcela, até à profundidade de 20 cm, sendo as leituras realizadas em intervalos de 2,5 cm. A umidade dos solos foi obtida com medidor TDR (Time Domain Reflectometry da Trase Systems), na profundidade de 0-20 cm.

A análise química do solo foi feita, nas parcelas solarizadas e não solarizadas, em amostras compostas (mistura de 20 amostras simples), coletadas até 10 cm de profundidade, em 14/04/2000. O P e os teores trocáveis de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} foram extraídos do solo com resina de troca iônica; o B foi extraído com água quente; os micronutrientes metálicos (Cu, Fe, Mn e Zn), com solução de DTPA-TEA em pH 7,3, e o $N-NH_4^+$ e $N-NO_3^-$, com solução de KCl 1 mol L^{-1} . O P e o B foram determinados por colorimetria; o K^+ , o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , por espectrofotometria de absorção atômica; o Cu, o Fe, o Mn e o Zn, por espectrofotometria de emissão atômica com plasma induzido e as formas inorgânicas de N por destilação a vapor. Os métodos usados estão descritos em Rajj et al. (2001).

A atividade microbiana do solo foi avaliada por meio da hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA), utilizando método semelhante ao descrito por Boehm & Hoitink (1992), em 17/03/2000 e 28/06/2000. Amostras de 5 g de solo foram colocadas em frascos de Erlenmeyer (250 mL), juntamente com 20 mL de tampão fosfato de potássio 60 mmol L^{-1} (8,7 g de K_2HPO_4 e 1,3 g de KH_2PO_4 por L de água destilada; pH 7,6). A reação de hidrólise de FDA (Sigma Chemical Co.) foi iniciada, adicionando-se 0,2 mL (400 μg) de solução estoque de FDA (2 g L^{-1} acetona). As amostras foram incubadas por 20 min em agitador (200 rpm) a 25 °C. A reação foi interrompida pela adição de 20 mL de acetona por frasco. A seguir, procedeu-se à filtração (Whatman nº 1); os filtrados foram recolhidos em tubos de cultura, posteriormente tampados com papel alumínio e acondicionados em recipiente que continha gelo, para evitar a evaporação da acetona. Em espectrofotômetro, determinou-se a absorbância (490 nm) dos filtrados.

A concentração de FDA hidrolisado ($\mu g g^{-1}$ de FDA hidrolisado no solo seco) foi determinada com auxílio de uma curva-padrão. A curva-padrão foi obtida adicionando-se FDA, nas quantidades de 0, 100, 200, 300 e 400 μg , em 5 mL de tampão fosfato, contido em tubos de cultura. Os tubos foram mantidos por 60 min em água fervente, para hidrolisar o FDA. Após a hidrólise, o FDA foi então adicionado em Erlenmeyers que continham 5 g de solo e 15 mL de tampão fosfato, em três repetições. A seguir, método semelhante ao descrito anteriormente foi utilizado com vista em obter a curva-padrão entre o FDA hidrolisado e a absorbância.

A supressividade a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* foi avaliada pela colonização de amostras de solo pelo patógeno marcado com resistência a benomyl (10 mg L^{-1}), segundo o método de Toyota et al. (1996), com modificações. O solo, coletado em 6/04/2000, até à profundidade de 10 cm, foi colocado em cilindros metálicos desinfestados, com 4,5 cm de diâmetro e 4 cm de altura, e cobertos com parafilme. Um disco de meio de cultura (1,5 cm de diâmetro) com micélio do fungo, retirado da borda de uma colônia, foi transferido para a superfície do solo. A incubação foi realizada a 25 °C, no escuro. Após 15 dias, o solo foi retirado dos cilindros, homogeneizado, sendo a avaliação da colonização pelo patógeno feita por meio de contagem das colônias desenvolvidas após plaqueamento em meio de cultura de Komada (1975), acrescido de benomyl (10 mg L^{-1}).

Jarinu

O experimento foi instalado numa lavoura comercial no município de Jarinu, produtora de morango. Os canteiros foram preparados e adubados antes da instalação do experimento. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com dois tratamentos (solarizado e não solarizado) e quatro repetições, constituídas por três canteiros de 1 m de largura, com 20 cm entre os canteiros, e 5 m de comprimento. Desse modo, as parcelas solarizadas foram cobertas com o plástico em área de 4 x 5 m. O plástico com 100 μm de espessura e com aditivo anti-UV foi colocado no solo no dia 27/12/1999 e retirado no dia 28/02/2000, da forma descrita no experimento anterior.

A avaliação da resistência à penetração e da umidade do solo foi feita de forma semelhante ao ensaio de Mogi das Cruzes, em 18/04/2000 e 3/10/2000, tendo a área permanecido sem cultivo durante esse período. Na última avaliação foram retiradas amostras indeformadas de solo, com cilindros de 5 cm de diâmetro e 6 cm de altura, nas profundidades de 10 e 20 cm, em duas repetições por parcela. A macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade foram avaliadas segundo EMBRAPA (1997). A avaliação de macro e micronutrientes foi feita como no ensaio anterior.

Piracicaba

O experimento foi instalado na área experimental do Departamento de Horticultura da ESALQ/USP, em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados três tipos de filmes plásticos para solarização, de 100 µm de espessura, produzidos pela empresa NORTENE Plásticos Ltda.: (a) filme plástico com aditivo anti-UV; (b) filme plástico com meia carga de aditivo anti-UV; (c) filme plástico transparente sem aditivo anti-UV. A testemunha foi constituída por parcela não solarizada.

As parcelas foram constituídas por três canteiros com 5 m de comprimento. Os plásticos foram colocados no dia 18/01/2000 e retirados em 14/03/2000. Mudanças de alface foram transplantadas em 14/04/2000. Durante a solarização, foram registradas as temperaturas do solo a 10 cm de profundidade no canteiro central das parcelas. As avaliações de macro e micronutrientes (em 14/04/2000), atividade microbiana (em 26/04/2000), resistência à penetração, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade (em 17/05/2000) foram efetuadas como nos experimentos anteriores.

Itatiba

O experimento foi instalado em área de cultivo comercial de morango, em blocos ao acaso, com quatro repetições. A área das parcelas foi a mesma do ensaio de Jarinu. Os tratamentos foram: (a) solarização por 66 dias (plástico colocado em 12/12/2000 e retirado em 16/02/2001); (b) solarização por 119 dias (plástico colocado em 12/12/2000 e retirado em 10/04/2001); (c) solarização por 119 dias, tendo sido o plástico pintado com tinta preta e permanecido no campo durante o cultivo do morango; (d) testemunha não solarizada. O plantio do morango foi em 10/04/2001.

A resistência à penetração do solo e a umidade foram avaliadas em 28/03/2001, conforme descrito anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No experimento de Mogi das Cruzes, as temperaturas médias do solo registradas na profundidade de 10 cm durante a solarização foram de 40,8 e 29,3 °C, para os solos solarizados e não solarizados, respectivamente; as temperaturas máximas foram de 48 e 34 °C. Em Piracicaba, as temperaturas registradas não diferiram sob os diferentes filmes plásticos, sendo as médias de 30,6 e 25,4 °C, para os solos solarizados e não solarizados, respectivamente, e as máximas de 43,9 e 33,9 °C. As temperaturas obtidas indicam que os experimentos foram realizados em períodos adequados para solarização (Ghini et al., 1994).

A solarização reduziu significativamente a resistência à penetração dos solos nos ensaios de Jarinu, Piracicaba e Itatiba (Figura 1). Em Jarinu, onde o solo apresentou maior resistência inicial à penetração, a diferença entre os tratamentos foi muito acentuada. Oito meses após a retirada do plástico, verificou-se que o efeito da solarização sobre essa característica física do solo não foi alterado. No ensaio de Piracicaba, os plásticos com diferentes cargas de aditivo anti-UV apresentaram resultados semelhantes, assim como no ensaio de Itatiba, em que os vários períodos de tratamento também não diferiram quanto aos efeitos na resistência à penetração dos solos (Figura 1).

Embora a resistência à penetração esteja relacionada de forma inversa com a umidade do solo, em Jarinu, Piracicaba e Itatiba, a variação na umidade do solo por si só não foi suficiente para explicar tal diferenciação observada. Os solos não solarizados apresentaram maior resistência à penetração e maior umidade (Figura 1). Observando os valores de densidade, verifica-se que, Piracicaba e Jarinu, locais onde foram feitas as avaliações, apresentaram valores menores para os solos solarizados (Quadro 2), o que pode explicar a menor resistência à penetração. De modo geral, a variação na macro, micro e porosidade total não foi significativa entre os tratamentos solarizados e não solarizados (Quadro 2). Por outro lado, Patel & Patel (1997) verificaram, em um solo de textura franco-arenosa, aumento na porosidade total e na capacidade de retenção de água, após a solarização, sem, entretanto, explicar os fatores envolvidos nessas alterações.

No ensaio de Mogi das Cruzes, em solo turfoso, a solarização resultou em aumento da resistência à penetração do solo na camada de 2,5 a 5 cm de profundidade (97,45 e 42,44 kPa, nos solos solarizados e não solarizados, respectivamente) (Figura 1). Nesse caso, a resistência à penetração foi inversamente relacionada com a umidade dos solos, como era esperado. As maiores temperaturas durante a solarização concentram-se na superfície do solo, provocam maior ressecamento da matéria orgânica e acarretam, conseqüentemente, aumento da resistência à penetração.

A atividade microbiana, avaliada pela hidrólise de diacetato de fluoresceína, foi reduzida pela solarização, nos ensaios de Mogi das Cruzes e Piracicaba (Quadro 3). Resultado semelhante foi obtido por Schoenmaker (2001), em ensaio realizado com solarização para o controle de *Pythium* em crisântemo e pepino. O aquecimento do solo durante a solarização promoveu a morte de uma parcela de microrganismos, o que pode ter resultado na redução da atividade microbiana. Os fungicidas não apresentaram efeito, graças, possivelmente, à degradação dos produtos ou ao modo de ação específico (Lyr, 1995), podendo ter atuado sobre uma

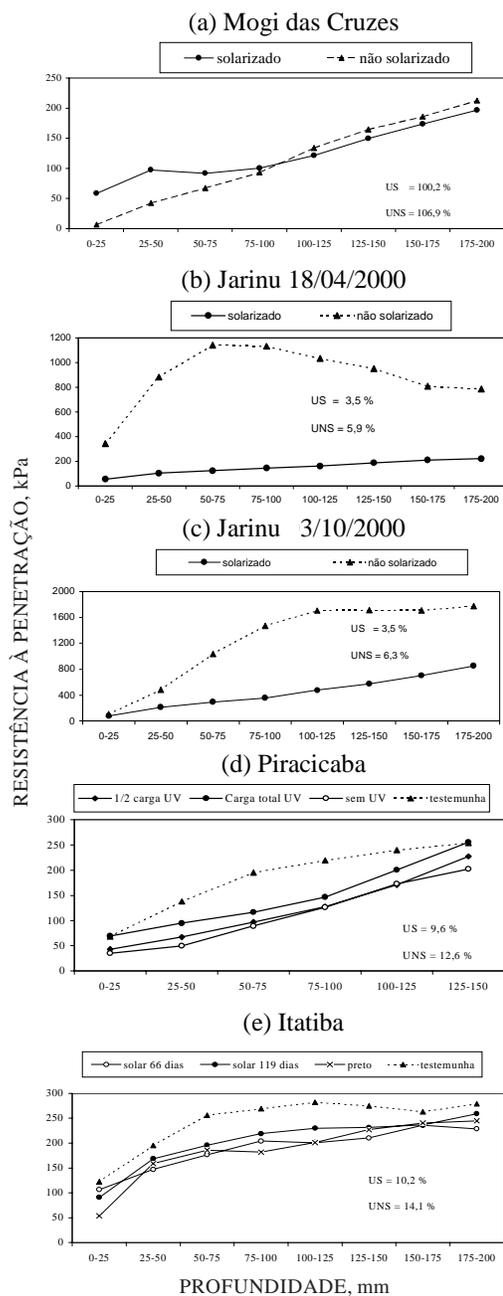


Figura 1. Resistência à penetração dos solos submetidos à solarização, nos ensaios de (a) Mogi das Cruzes, (b) Jarinu em 18/04/2000, (c) Jarinu em 3/10/2000, (d) Piracicaba (1/2 carga UV = solarização com plástico com metade da carga de aditivo anti-UV; carga total UV = solarização com plástico com carga total de aditivo anti-UV e sem UV = solarização com plástico transparente sem aditivo) e (e) Itatiba (solar 66 dias = solarização por 66 dias; solar 119 dias = solarização por 119 dias; preto = solarização seguida de pintura do plástico com tinta preta; testemunha = não solarizado). US = umidade do solo solarizado e UNS = umidade do solo não solarizado.

parte pouco significativa da microbiota do solo, sem causar alterações na atividade microbiana total. A hidrólise de FDA é considerada uma avaliação da atividade microbiana geral, visto que a reação pode ser realizada pela maioria das bactérias, fungos e outros organismos (Grunwald et al., 2000). A alteração na microbiota do solo pode ter contribuído para a redução na resistência à penetração, considerando que os microrganismos presentes no solo interagem com as partículas de argila tendo influência na estabilização dos agregados (Tsai et al., 1992).

A supressividade a *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli* foi aumentada com a solarização, pois o tratamento reduziu a recuperação do patógeno (Quadro 4). Segundo Alabouvette et al. (1996), a supressão a *Fusarium* pode ser resultante do aumento da atividade microbiana total ou de natureza específica. A supressão observada nos solos solarizados pode ter sido de natureza específica, já que não foi acompanhada do aumento da atividade microbiana total. Ou seja, as alterações promovidas pela solarização na composição da microbiota do solo podem ter resultado na seleção de antagonistas específicos. Os fungicidas não afetaram a recuperação do patógeno, pois, além de não serem recomendados para o controle de *Fusarium* spp., não promoveram alterações que resultassem em indução de supressividade (Quadros 3 e 4).

Nos solos solarizados, houve aumento significativo dos teores de NH_4^+ em todos os ensaios e Mn, em três ensaios. Em alguns experimentos, foram observados aumentos dos teores de NO_3^- , Mg^{2+} , K^+ e da saturação por bases, além da redução dos teores de H + Al, Cu, Fe e Zn (Quadro 5). O aumento acentuado nos teores de NH_4^+ deve estar relacionado com o incremento na mineralização do N orgânico do solo pelo aumento da temperatura, o que favorece também a liberação de Mn e K. Outros autores também observaram aumentos nos teores de NH_4^+ , NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} nos solos solarizados (Stapleton et al., 1985; Katan & DeVay, 1991; Patel & Patel, 1997; Grunzweig et al., 1999). O incremento na disponibilidade de formas inorgânicas de N geralmente estimula o crescimento das plantas, pois esse é o elemento mineral absorvido em maiores quantidades pela maioria dos vegetais. Segundo Grunzweig et al. (1999), o efeito da solarização nos nutrientes tem diversas implicações, especialmente em solos pobres. Elementos como K e micronutrientes, como Mn, podem promover a redução da incidência de doenças de plantas, por meio da indução de supressividade do solo a patógenos, indução da resistência de plantas ou outros mecanismos (Engelhard, 1989).

O teor de matéria orgânica não diferiu nos quatro ensaios (Quadro 5). Embora tenha havido liberação de N inorgânico com a solarização, as quantidades liberadas são muito pequenas em relação ao estoque de N da matéria orgânica. Assim, no curto intervalo

Quadro 2. Macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade de solos submetidos à solarização, nas profundidades de 10 e 20 cm, nos ensaios de Piracicaba e Jarinu (SP)

Tratamento	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade total	Densidade
				kg dm ⁻³
— % —				
Piracicaba (17/05/2000)				
Profundidade				
10 cm	30 a	26 b	56 a	1,16 b
20 cm	26 a	31 a	58 a	1,29 a
Solarização				
Testemunha	28 a	31 a	59 a	1,32 a
Solarizado – carga total UV	29 a	27 b	57 a	1,19 ab
Solarizado – meia carga UV	28 a	28 ab	56 a	1,18 b
Solarizado – sem UV	27 a	30 ab	57 a	1,22 ab
Testemunha – 10 cm	29	30	59	1,28
Solarizado – carga total UV – 10 cm	31	24	56	1,13
Solarizado – meia carga UV – 10 cm	30	24	54	1,07
Solarizado – sem UV – 10 cm	29	27	57	1,17
Testemunha – 20 cm	26	33	59	1,35
Solarizado – carga total UV – 20 cm	28	29	58	1,26
Solarizado – meia carga UV – 20 cm	26	32	58	1,29
Solarizado – sem UV – 20 cm	25	32	57	1,27
Jarinu (3/10/2000)				
Solarizado – 10 cm	31,38 a	28,95 a	60,33 a	1,09 b
Não solarizado – 10 cm	32,75 a	29,34 a	62,10 a	1,09 b
Solarizado – 20 cm	31,99 a	29,04 a	61,04 a	1,05 b
Não solarizado – 20 cm	32,80 a	30,69 a	63,49 a	1,16 a

Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1 %.

Quadro 3. Atividade microbiana do solo, avaliada pela hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) dos solos submetidos à solarização, nos ensaios de Mogi das Cruzes e Piracicaba (SP)

Tratamento	FDA	
	— µg g ⁻¹ de FDA hidrolisado no solo seco —	
Mogi das Cruzes	17/03/2000	28/06/2000
Solarização		
Solarizado	14,48 b	24,18 b
Não solarizado	22,33 a	31,32 a
Fungicidas		
Testemunha	18,06 a	26,28 a
Pencycuron	18,06 a	29,99 a
Procimidone	19,09 a	26,98 a
Testemunha – solarizado	13,49	23,91
Pencycuron – solarizado	14,75	22,37
Procimidone – solarizado	15,20	26,26
Testemunha – não solarizado	22,63	28,66
Pencycuron – não solarizado	21,38	37,61
Procimidone – não solarizado	22,97	27,70
Piracicaba	26/04/2000	
Não solarizado	8,65 a	
Solarizado – carga total UV	0,76 c	
Solarizado – meia carga UV	1,14 bc	
Solarizado – sem UV	1,89 b	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1 %.

de tempo do experimento, não poderiam ocorrer variações no teor de matéria orgânica do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Stapleton et al. (1985), porém os autores advertem que as discrepâncias observadas entre os resultados dos efeitos da solarização nos nutrientes do solo se devem, em parte, aos diferentes tipos de solo, profundidade de amostragem e métodos empregados para análise.

Os efeitos observados da solarização, como a redução da resistência à penetração, indução de supressividade, liberação de nutrientes, especialmente N, podem contribuir para maior crescimento de plantas, controle de patógenos veiculados pelo solo e, conseqüentemente, maior produtividade. Assim, a solarização apresenta grande potencial no manejo de culturas e, por esse motivo, outros estudos devem ser realizados para melhor caracterização e explicação das causas da variação.

Quadro 4. Efeito da solarização na colonização de solos de Mogi das Cruzes (SP) por *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*

Tratamento	log ufc/g solo seco
Solarização	
Solarizado	2,80 b
Não solarizado	3,32 a
Fungicidas	
Testemunha	3,09 a
Pencycuron	2,90 a
Procimidone	3,19 a
Testemunha – solar	2,95
Pencycuron – solar	2,51
Procimidone – solar	2,93
Testemunha – não solar	3,24
Pencycuron – não solar	3,29
Procimidone – não solar	3,45

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1 %.

Quadro 5. Composição química dos solos submetidos à solarização nos ensaios de Mogi das Cruzes, Jarinu, Piracicaba e Itatiba (SP)

Local	Tratamento	MO	pH (CaCl ₂)	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H + Al	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Mogi das Cruzes	Solarizado	218	5,9 ⁽¹⁾	119,6 ⁽¹⁾	46,0	1156	7,9 ⁽¹⁾	375	59 ⁽¹⁾	39	91 ⁽¹⁾	3,70	20,5	87	107,0 ⁽¹⁾	46,4
	Não solarizado	202	5,7	5,4	41,1	1417	6,5	383	54	53 ⁽¹⁾	89	3,00	25,4 ⁽¹⁾	119 ⁽¹⁾	32,9	67,9 ⁽¹⁾
Jarinu	Solarizado	22	5,6	62,6 ⁽¹⁾	45,0 ⁽¹⁾	194	6,1	34	12	23	68	1,14 ⁽¹⁾	1,4	24	11,3 ⁽¹⁾	4,5
	Não solarizado	21	5,6	1,0	18,1	158	5,2	29	10	23	65	0,61	1,6	27	7,6	4,8
Piracicaba	Solarizado	29	5,9 ⁽¹⁾	100,3 ⁽¹⁾	31,1	154	9,2	59	22 ⁽¹⁾	25	78 ⁽¹⁾	0,29	15,2	54	211,4 ⁽¹⁾	17,2
	Não solarizado	26	5,5	34,2	39,5	186	7,2	54	19	33 ⁽¹⁾	70	0,29	18,3 ⁽¹⁾	86 ⁽¹⁾	108,6	16,9
Itatiba	Solarizado	23	5,9	24,4 ⁽¹⁾	51,3 ⁽¹⁾	104	5,5	47	10	21	74	0,45	3,2	42	23,2	4,5
	Não solarizado	24	6,0	2,6	3,8	152	5,3	45	10	22	72	0,37	2,8	40	18,9	4,2

⁽¹⁾ Médias diferem significativamente, entre solos solarizados ou não, dentro de cada local, pelo teste de Tukey a 5 %.

CONCLUSÕES

1. A solarização reduziu significativamente a resistência à penetração dos solos não turfosos.
2. A atividade microbiana do solo foi reduzida pela solarização.
3. A supressividade a *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* foi induzida pela solarização.
4. A solarização provocou um aumento expressivo nos teores de NH₄⁺ e de Mn.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP), pelo auxílio financeiro que

possibilitou a realização dos experimentos. Ao produtor Sr. Mário Okuyama, pela condução do experimento em Mogi das Cruzes. Ao Eng^o Agr^o José Abrahão Haddad Galvão, pelo auxílio nas avaliações.

LITERATURA CITADA

- ALABOUVETTE, C.; LEMANCEAU, P. & STEINBERG, C. Biological control of *Fusarium* wilts: opportunities for developing a commercial product. In: HALL, R., ed. Principles and practice of managing soilborne plant pathogens. St. Paul, APS Press, 1996. p.192-212.
- BETTIOL, W.; GHINI, R.; GALVÃO, J.A.H. & ZOCCHI, S.S. Solarização do solo para o controle de *Pythium* e plantas daninhas em crisântemo. Sci. Agric., 51:459-462, 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*, 82:259-264, 1992.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ENGELHARD, A.W. Management of diseases with macro- and microelements. St. Paul, APS Press, 1989. 217p.
- GHINI, R. & BETTIOL, W. Controle físico. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. & AMORIM, A., eds. Manual de fitopatologia. 3.ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1995. p.786-803.
- GHINI, R.; BETTIOL, W. & SOUZA, N.L. Solarização do solo para o controle de *Verticillium dahliae* em berinjela. *Fitopatol. Bras.*, 17:384-388, 1992.
- GHINI, R.; PARAIBA, L.C. & LIMA, M.W.P. Determinação de período para solarização do solo na região de Campinas (SP). *Summa Phytopathol.*, 20:131-133, 1994.
- GRUENZWEIG, J.M.; RABINOWITCH, H.D. & KATAN, J. Physiological and developmental aspects of increased plant growth in solarised soils. *Ann. Appl. Biol.*, 122:579-591, 1993.
- GRUNWALD, N.J.; HU, S. & van BRUGGEN, A.H.C. Short-term cover crop decomposition in organic and conventional soils: characterization of soil C, N, microbial and plant pathogen dynamics. *Eur. J. Plant Pathol.*, 106:37-50, 2000.
- KATAN, J. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 19:211-236, 1981.
- KATAN, J. Soil solarization: integrated control aspects. In: HALL, R., ed. Principles and practice of managing soilborne plant pathogens. St. Paul, APS, 1996. p.250-278.
- KATAN, J. & DeVAY, J.E. Soil solarization. Boca Raton, CRC Press, 1991. 267p.
- KATAN, J.; GREENBERGER, A.; ALON, H. & GRINSTEIN, A. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology*, 66:683-688, 1976.
- KOMADA, H. Development of a selective medium for quantitative isolation of *Fusarium oxysporum* from natural soil. *Rev. Plant Protec. Res.*, 8:114-125, 1975.
- LIFSHITZ, R.; TABACHNIK, M.; KATAN, J. & CHET, I. The effect of sublethal heating on sclerotia of *Sclerotium rolfsii*. *Can. J. Microbiol.*, 29:1607-1610, 1983.
- LYR, H. Modern selective fungicides: properties, applications, mechanisms of action. New York, Gustav Fisher, 1995. 595p.
- PATEL, B.K. & PATEL, H.R. Effect of nematicides, soil solarization, rhabbing and green manuring on some physical and chemical properties of soil in nematode infested bidi tobacco nursery. *Tob. Res.*, 23:19-26, 1997.
- PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, SAEAFS, 1996. 446p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 284p.
- SCHOENMAKER, I.A.S. Solarização do solo associada à incorporação de matérias orgânicas para o controle de *Pythium* spp. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2001. 50p.
- SINIGAGLIA, C.; PATRICIO, F.R.A.; GHINI, R.; MALAVOLTA, V.M.A.; TESSARIOLI, J. & FREITAS, S.S. Controle de *Sclerotinia minor*; *Rhizoctonia solani* e plantas daninhas em alface pela solarização do solo e sua integração com controle químico. *Summa Phytopathol.*, 27:229-235, 2001.
- SOUZA, N.L. Solarização do solo. *Summa Phytopathol.*, 20:3-15, 1994.
- STAPLETON, J.J.; QUICK, J. & DeVAY, J.E. Soil solarization: effects on soil properties, crop fertilization and plant growth. *Soil Biol. Biochem.*, 17:369-373, 1985.
- TOYOTA, K.; RITZ, K. & YOUNG, I.M. Microbiological factors affecting the colonization of soil aggregates by *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*. *Soil Biol. Biochem.*, 28:1513-1521, 1996.
- TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L. & ROMANI, V.L.M. Efeito de fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. & NEVES, M.C.P., eds. Microbiologia do solo. Campinas, 1992. p.59-72.