

Qualidade do solo e sustentabilidade na cultura da batata

RAGASSI, C. F.^{1*}; FAVARIN, J. L.²; MELO, P. C. T. De ³; SHIRAISHI, F. A.⁴; SAKO H.⁵

^{1*}Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70359-970 Brasília-DF
cragassi@cnph.embrapa.br.

²Departamento de Produção Vegetal, ESALQ – USP, C. Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba-SP. e-mail: jlfavari@esalq.usp.br.

³Departamento de Produção Vegetal, ESALQ – USP, C. Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba-SP. e-mail: pctmelo@esalq.usp.br.

⁴Departamento de Produção Vegetal, ESALQ – USP, C. Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba-SP. e-mail: kioshiraishi@yahoo.com.br.

⁵Departamento de Produção Vegetal, ESALQ – USP, C. Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba-SP. e-mail: henrysk@uol.com.br.

RESUMO

A produção de batata no Brasil é migratória devido à alta ocorrência de doenças de solo, o que compromete a sustentabilidade dessa cultura. O presente trabalho de revisão apresenta conceitos de qualidade de solo essenciais para o estabelecimento de sistemas produtivos sustentáveis para a cultura da batata, especialmente no que tange a atributos biológicos (biodiversidade e supressividade a doenças) e físicos (compactação, drenagem e agregação) do solo.

Palavras-chave: supressividade, compactação, manejo de solo, doenças da batata, doenças de solo.

ABSTRACT

Soil quality and potato crop sustainability

Potato crop migrates continually in Brazil due to the high incidence of soil diseases, which threatens its sustainability. This review presents concepts of soil quality, which are essential for the establishment of sustainable production systems for the potato crop. The presented concepts rely, especially, on biological (biodiversity and disease suppression capacity) and physical (compaction, drainage and aggregation) soil aspects.

Keywords: suppressiveness, compaction, soil management; potato diseases, soil-borne diseases.

INTRODUÇÃO

A batata, *Solanum tuberosum* L., é fundamental para a segurança alimentar de centenas de milhões de pessoas nos países em desenvolvimento. Nesses países, o consumo *per capita* de batatas cresceu de 9 kg na década de 60 para 21 kg em 2006 (FAO, 2006). Enquanto a quantidade de batata produzida reduziu na Europa, seu crescimento tem sido tão alto nos países em desenvolvimento, que a produção mundial praticamente dobrou nos últimos 20 anos. Ainda, a FAO afirma que o aumento na área cultivada com batata nos países em desenvolvimento ultrapassou o aumento de todas as outras *commodities* alimentícias e, em 2020, espera-se que a demanda de batata seja o dobro em comparação à de 1993.

Com base na grande importância dessa cultura, o presente trabalho de revisão tem por objetivo apresentar conceitos de qualidade do solo essenciais para a sustentabilidade de sua produção.

Qualidade biológica do solo

Uma característica da produção de batata (*Solanum tuberosum* L.) no Brasil é a migração em busca de novas áreas, devido, principalmente, à alta ocorrência de doenças de solo, o que compromete sua sustentabilidade econômica, social e ambiental. Plantios contínuos de batata podem resultar em até 58% das plantas apresentando lesões no caule causadas por *Rhizoctonia solani* (HONEYCUTT; CLAPHAM; LEACH, 1996) e, dessa forma, a impossibilidade de se cultivar a batata sucessivamente na mesma área motiva o contínuo deslocamento da cultura, sempre à procura de solos não cultivados e livres de patógenos. Isso faz da bataticultura uma cultura migratória e, com o passar do tempo, são abandonados solos degradados fisicamente, quimicamente e biologicamente.

Solos de ecossistemas naturais intactos possuem alto grau de estruturação e são tipicamente supressivos a doenças, ou seja, apresentam incidência muito baixa de doenças, mesmo quando o patógeno é introduzido, a planta é suscetível e as condições climáticas são favoráveis para sua ocorrência. Dessa forma, se espera que, na cultura da batata, a melhoria dos atributos de solo inerentes à recuperação de sua estrutura proporcione produtividade e sanidade suficiente para viabilizar o cultivo dessa hortaliça.

Há diversos relatos de ocorrência severa de podridões radiculares como resultado da compactação e do posterior encharcamento do solo (JOUBERT, 1993; JOUBERT; LABUSCHAGNE, 1998; WILCOX; MIRCETICH, 1979), que são seqüelas comuns do preparo de solo convencionalmente adotado, baseado na utilização de grade aradora a 20 cm de profundidade. A permeabilidade do solo, necessária para que haja drenagem do excesso de água, se torna ainda mais difícil de ser recuperada quando a atividade biológica é baixa, o que ocorre nos sistemas com intensa aplicação de fertilizantes e agrotóxicos (TOKESHI et al., 1997).

O encharcamento do solo ocasiona privação de oxigênio e acúmulo de substâncias tóxicas dentro e ao redor das raízes. Mesmo um curto período de privação de oxigênio pode danificar severamente as raízes (LABUSCHAGNE; JOUBERT, 2006). Além disso, condições prolongadas de alta umidade, que comumente se verifica em solos compactados, após chuva ou irrigação, reduzem a respiração da planta (LAMBERS, 1988) e aumentam a exsudação radicular (SMUKER; ERICKSON, 1987), como meio de compensar as condições adversas (LABUSCHAGNE; JOUBERT, 2006).

A existência de solo nessas condições provoca uma reação natural, como exemplificado pelo caso em que as raízes, em estado de anaerobiose, associado à camada com alta resistência à penetração, aumentam a produção de exsudatos (BARBER; GUNN, 1974), os quais estimulam a atividade dos organismos patogênicos, em particular *Phytophthora* spp., que é atraído às raízes (KEW; ZENTMEYER, 1973).

Na cultura da batata, o excesso de água reduz o rendimento e a qualidade dos tubérculos, além de acentuar o dano causado por doenças associadas ao excesso de umidade (THORNTON, et al., 2008). A alta umidade leva à formação de um filme de água sobre o tubérculo, o que faz com que sua superfície se torne anaeróbica, fato que inibe sua resistência natural a infecções, além de estabelecer um ambiente favorável a doenças bacterianas como a canela preta causada por *Pectobacterium atrosepticum* e a podridão do tubérculo causada por *Pectobacterium carotovorum* (DE BOER, 2008). Solo demasiadamente úmido causa a abertura das lenticelas, também denominada

lenticelose, permitindo a entrada de patógenos e tornando o tubérculo mais suscetível a infecções (DE BOER, 2008).

A reação do produtor normalmente é o combate a esses organismos indesejáveis utilizando de forma crescente os agrotóxicos. No entanto, ao longo do tempo, esse método passa a ser economicamente inviável, porque atua nos efeitos e não na causa.

Algumas estratégias de controle químico de doenças impedem o desenvolvimento de comunidades de microrganismos benéficos ao sistema de produção. A fumigação, por exemplo, tem sido utilizada para reduzir a população de patógenos e nematóides, no entanto, os fumigantes geralmente apresentam amplo espectro de ação e são tóxicos a grande parte dos microrganismos do solo, o que leva à redução da população antagonista aos patógenos (KINKEL, 2008). Essa redução leva à alta incidência de doenças observada três a quatro anos após a fumigação, além de reduzir a diversidade microbiológica do solo. Os fumigantes podem, também, reduzir ou eliminar a colonização das plantas cultivadas pelos fungos micorrízicos arbusculares, o que pode aumentar a suscetibilidade das plantas às doenças (KINKEL, 2008). Nesse sentido, a estratégia mais adequada para o manejo de doenças é tornar o solo um ambiente favorável para sua biota, conferindo-lhe, assim, a supressividade.

Supressividade é a condição do solo em que a doença não ocorre, embora os organismos patogênicos estejam presentes em quantidade suficiente, ou até maior que a quantidade normalmente necessária para que ocorra (ALABOUVETTE, 1999). Um solo supressivo é aquele que, por apresentar condições próximas às naturais, além de não proporcionar aos patógenos ambiente favorável para o seu desenvolvimento, apresentam uma grande atividade biológica, com elevada biodiversidade e, dentro dessa biodiversidade, se incluem diversos organismos antagonistas aos patógenos. A combinação dessas condições faz com que a doença não ocorra embora as estruturas de sobrevivência do patógeno estejam presentes, em números maiores que o necessário para desencadear problema nos solos sob agricultura convencional (ALABOUVETTE, 1999).

Nos solos supressivos, observa-se que a incidência de doença é baixa mesmo quando o patógeno é introduzido, a planta é suscetível e há condições climáticas favoráveis à expressão da doença (ALABOUVETTE, 1999).

Solos supressivos a doenças causadas por diversos fungos, bactérias e nematóides foram descritos (COOK; BAKER, 1983; SCHNEIDER, 1982; SCHIPPERS, 1992; KINKEL, 2008), os quais controlaram podridões radiculares e murchas causadas por *Aphanomyces euteiches*, *Cylindrocladium* sp., *Fusarium* spp., *Gaeumannomyces graminis*, *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Rhizoctonia solani*, *Ralstonia solanacearum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Streptomyces scabies*, *Verticillium dahliae* e *Thielaviopsis basicola*, assim como os nematóides *Pratylenchus penetrans* e *Meloidogyne* spp. Essa grande diversidade de exemplos mostra que a supressividade não é um fenômeno isolado, razão porque se pode afirmar que todo solo tem algum potencial de supressividade (ALABOUVETTE, 1999).

Estudos sobre a supressão de doenças mostram que muitos mecanismos diferentes contribuem para o seu controle. No entanto, solos supressivos apresentam diversas propriedades em comum que demonstram que a supressividade é fundamentalmente de origem microbiológica. Dessa forma, a capacidade supressiva é perdida quando tratados com biocidas e pode ser restaurada se for misturada uma pequena quantidade de solo supressivo a um solo previamente esterilizado por calor (SCHER; BAKER, 1980).

Os mecanismos de supressão de patógenos por microrganismos nativos do solo incluem a competição por recursos, produção de antibióticos, parasitismo e a produção de substâncias tóxicas ou enzimas, como o óxido nitroso e a quitinase. Os patógenos geralmente são sensíveis aos antibióticos e, portanto, são competidores fracos no solo, o que explica sua suscetibilidade à supressão pelos microrganismos saprofíticos (KINKEL, 2008).

Cada solo apresenta um potencial para a supressão de doenças. Dessa forma, os métodos para promover a supressividade devem se basear em práticas culturais (ALABOUVETTE, 1999). A aplicação de compostos orgânicos pode controlar algumas doenças de solo (LUMSDEN; LEWIS; PAPAVIDAS, 1983), como o exemplo da utilização de matéria orgânica para controlar a podridão radicular de *Phytophthora* em abacate na Austrália, a qual se baseia na incorporação de grandes quantidades de matéria orgânica para reproduzir o ambiente dos solos, naturalmente supressivos, existente na floresta tropical (COOK, 1982). No entanto, como a supressividade do solo envolve grande complexidade de mecanismos e diversos grupos de microrganismos antagonistas são responsáveis pela supressão de uma doença, o controle biológico baseado na aplicação de poucas ou apenas uma linhagem antagonista não é consistente e bons resultados são conseguidos quando se busca reproduzir a complexidade de mecanismos que operam na natureza, por meio do manejo dos fatores ambientais que promovem o antagonismo microbiológico (ALABOUVETTE, 1999).

Alguns solos, após longo período de cultivo de batata, se tornaram altamente supressivos à sarna comum, causada por *Streptomyces scabies*, nos quais, mesmo as cultivares mais suscetíveis, permaneciam livres da doença. A supressão dessa doença foi atribuída ao crescimento de uma comunidade microbiana que inibia a população de *Streptomyces scabies*, o que ilustra o grande potencial das comunidades microbianas do solo em promover a supressão de doenças de forma eficaz e duradoura (KINKEL, 2008).

Em um trabalho conduzido em laboratório, comparou-se o crescimento micelial de *Rhizoctonia solani* em solo colhido de áreas com 12 diferentes coberturas vegetais. As análises estatísticas agruparam os tratamentos conforme o crescimento micelial observado, apresentando, de forma crescente, os grupos: (a) pasto e pousio; (b) mata e batata; (c) couve-flor, goiaba tomate e feijão; (d) cana, milho, café e solo arado. Dessa forma, verificou-se que o pasto e o pousio, seguidos da mata, acarretaram solos mais supressivos, ao passo que a cana, o milho, o café e o solo arado acarretaram solos mais conducentes (GUINI; ZARONI, 2001). De acordo com os autores, esse resultado pode estar associado ao sistema de cultivo e ao tempo de permanência de cada cultura no campo, visto que solos supressivos são comuns em ambientes ecologicamente balanceados de ecossistemas em clímax, nos quais os constituintes físico-químicos e microbianos do solo demoraram vários anos para se estabilizar. Em outras palavras, pode-se dizer que, se o ambiente não está degradado, não é necessário que a natureza utilize as espécies primárias. Dessa forma, elas ficam presentes, na forma latente, até o primeiro sinal de degradação, quando entram em atividade intensa de consumo e reprodução, aumentando a sua população até que o sistema presente se extingue.

Com base nas idéias conservacionistas, em vez de preparar excessivamente o solo, o homem passaria a se preocupar em mantê-lo o mais parecido possível com o do ecossistema natural. Assim, as atividades incentivariam ao máximo a sua atividade biológica, de forma a reconstruir e manter as suas características físicas naturais, baseadas na agregação de suas partículas.

Para o controle, baseado no conceito da supressividade, das doenças de solo da batata como murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*), podridão mole, canela preta ou talo-oco (*Pectobacterium* spp.), sarna comum (*Streptomyces scabies*), assim como de nematóides (*Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *Pratylenchus brachyurus*), recomenda-se a rotação de culturas, principalmente com gramíneas (TOKESHI; BERGAMIN FILHO, 1980).

A rotação de culturas é mais eficaz quando utilizada de forma preventiva. Assim, deve ser utilizada para minimizar a população de patógenos habitantes do solo antes de ela se tornar suficiente para causar impacto no rendimento e na qualidade dos tubérculos (POWELSON; ROWE, 2008).

A duração do período de rotação deve variar de acordo com a capacidade de sobrevivência do patógeno na ausência da planta hospedeira (LOPES; QUEZADO-SOARES, 1997). Dessa forma, o cultivo de culturas de rotação por dois ou três anos entre dois plantios de batata é uma tática efetiva para a supressão de patógenos que apresentam limitada gama de hospedeiros ou não produzem estruturas de sobrevivência em longo prazo (POWELSON; ROWE, 2008). Patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Streptomyces scabies* e *Helminthosporium solani* (causador da sarna prateada) possuem estreita a intermediária gama de hospedeiros e, ainda, esses dois últimos não apresentam estruturas de sobrevivência de longo prazo (POWELSON; ROWE, 2008).

A utilização de plantas não hospedeiras pode reduzir a população de patógenos que atacam a batata, particularmente quando o intervalo entre os cultivos de batata é superior a um ou dois anos. Embora a rotação com essas plantas seja mais eficiente para o controle de patógenos que sobrevivem somente em órgãos vivos da planta hospedeira (parasitas e epífitas) ou enquanto seus resíduos vegetais permitem a existência saprofítica (LOPES; QUEZADO-SOARES, 1997), o cultivo de plantas não hospedeiras ajuda, também, a reduzir a severidade de diversas doenças cujo agente causal é habitante do solo, tais como o mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), podridões de *Phytophthora erythroseptica* e *Pythium* spp., sarna comum (*Streptomyces scabies*), requeima (*Phytophthora infestans*) e doenças causadas por *Rhizoctonia* (THORNTON, et al., 2008). Nesse último caso, quanto maior o intervalo entre o cultivo de plantas hospedeiras, maior é a redução da doença (THORNTON, et al., 2008).

Um benefício primário de um esquema de rotação de culturas bem planejado é a melhoria da qualidade do solo. A adição de grandes quantidades de resíduo ao solo, ao decorrer do tempo, promove sua estruturação, disponibilidade de nutrientes e aumenta a capacidade de retenção e infiltração de água, assim como sua drenagem. A melhoria dessas condições de solo tende, ainda, a reduzir a compactação e a erosão (THORNTON, et al., 2008).

A variedade e o número de microrganismos do solo aumentam com o teor de matéria orgânica. Esses microrganismos competem por alimento e podem produzir substâncias químicas que reduzem o número de patógenos no solo. Ainda, a matéria orgânica, associada ao bom estado da estrutura do solo, aumenta sua capacidade de retenção de água e proporciona o desenvolvimento radicular em profundidade, o que resulta em plantas saudáveis, com rápido desenvolvimento e resistentes às doenças que seriam favorecidas em plantas estressadas hidricamente (WALTERS, 1980).

Qualidade física do solo

A batateira é extremamente sensível à compactação do solo e sua taxa de crescimento radicular se reduz à metade em locais com resistência a penetração de 1,5

MPa (STALHAM et al., 2007). No entanto, o crescimento radicular em profundidade é essencial em clima tropical, para que a planta não seja submetida a freqüentes estresses hídricos, visto que a transpiração nos trópicos é muito alta, propiciada pela irradiância superior a $1.500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e o cultivo, nessas regiões, é realizado em solos que possuem baixa retenção de água, da ordem de 50 litros por metro quadrado, em 100 cm de profundidade.

A cultura da batata exige solos com alta capacidade de difusão de gases, pois sua demanda por oxigênio é da ordem de $6,7$ a $12 \text{ mL O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de matéria seca de raízes, o que equivale de cinco a cem vezes os valores obtidos para outras plantas anuais (BUSHNELL, 1956). Ainda, como conseqüência da má drenagem, ocorre o encharcamento, que, associado à presença de determinados patógenos no solo, causa o apodrecimento dos órgãos subterrâneos da planta, o que inviabiliza o sistema de produção e leva à constante migração da cultura, em busca de novas áreas.

O ciclo cultural da batata na condição tropical e subtropical atinge 90 a 110 dias, dependendo da cultivar (PEREIRA; DANIELS, 2003) e, ao se considerar que a produtividade média na Região Centro Oeste foi de 40 t/ha em 2006 (ABBA, 2009), verifica-se que a cultura chega a produzir por dia $1.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de biomassa de tubérculos. A alta produção de biomassa vegetal dentro do solo ocasiona uma alta demanda de oxigênio, água e nutrientes para a manutenção do metabolismo.

A absorção de nutrientes pelas raízes das plantas ocorre de forma ativa e necessita de energia, cuja principal fonte é a respiração. Portanto, todos os fatores que afetam esse processo influenciam a absorção ativa de nutrientes pelas células. Dentre os fatores que afetam a respiração da célula, podem ser citados: a temperatura, o teor de carboidrato e o fornecimento de O_2 para ela (MARSCHNER, 1995). Assim, o baixo fornecimento de oxigênio para as raízes diminui a quantidade total de N, P, K, Ca, Mg, Cl, Zn, Cu, Mn, B e Fe nos tecidos da planta (LABANAUSKAS, et al. 1966).

Em experimentos de longo prazo, obtiveram-se baixas produtividades de batata, ao passo que outras culturas, que eram utilizadas em rotação com ela, produziram bem (BUSHNELL, 1956). Nesses experimentos, os dados de campo evidenciaram que a macroporosidade insuficiente do solo tinha sido o fator limitante à produtividade da cultura da batata, embora não tivesse limitado o desenvolvimento daquelas outras culturas. Em experimentos subseqüentes, verificou-se que a exigência em macroporosidade do solo pela cultura da batata era superior à de outras culturas devido ao seu maior consumo de oxigênio, de $6,7$ a $12 \text{ ml de O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ de raiz seca, ou seja, cinco a cem vezes superior ao relatado para plantas como trigo, cevada, ervilha, alfafa e girassol (BUSHNELL, 1956). O autor observou que tal fornecimento de oxigênio só seria possível em solos excepcionalmente porosos, o que, de acordo com Xu *et al.* (1992), equivale a mais de 10% do volume do solo ocupado por macroporos, ou seja, poros de diâmetro superior a $30 \mu\text{m}$ (BREWER, 1976). Adicionalmente, outros trabalhos relatam que a difusão de oxigênio crítica para a cultura da batata está acima do valor médio encontrado para outras culturas (DASBERG et al., 1970; JACKSON 1962; SOJKA, 1985; WENGEL, 1966). Dessa forma, a compactação do solo, ao diminuir sua porosidade, afeta de forma contundente o desenvolvimento da batateira.

Compactação é a conseqüência de todo processo que destrói a estrutura do solo, o que resulta em maior densidade, com menor espaço poroso para armazenamento de água e ar. Geralmente, solos com maior teor de argila e menor teor em matéria orgânica são mais suscetíveis a compactação que solos mais arenosos e mais ricos em matéria orgânica (THORNTON, et al., 2008).

Solos úmidos apresentam estrutura mais fraca e são mais suscetíveis à compactação que solos secos. Dessa forma, as operações mecanizadas somente deveriam ser realizadas com teor de água correspondente à capacidade de campo, o que geralmente não ocorre nas áreas de plantio comercial. Nessas áreas, a compactação é causada, dentre outros fatores, pela compressão do pneu, cuja pressão interior é normalmente regulada para 1,70 atm (25 psi), ao passo que pressão de apenas 0,27 atm (4 psi) já seria suficiente para compactar o solo (THORNTON, et al., 2008).

A compactação do solo afeta o crescimento da batateira de várias maneiras. Como o movimento de água e de ar é restrito, sua disponibilidade às plantas é limitada. As raízes não se desenvolvem e não penetram bem no solo e, assim, ficam localizadas superficialmente. Além disso, a planta necessita utilizar mais energia para o crescimento das raízes e dos tubérculos, o que reduz a energia disponível para o crescimento dos demais órgãos. O sistema radicular superficial limita a capacidade de obtenção de nutrientes e a resistência a períodos de estresse hídrico e, dessa forma, as plantas se tornam menos vigorosas e a qualidade e o rendimento de tubérculos são prejudicados (THORNTON, et al., 2008).

A estrutura e a densidade são propriedades do solo intimamente relacionadas, que influenciam de forma contundente a produtividade de batata. Solos com estrutura granular são os mais favoráveis à passagem de água e ao crescimento radicular. Estrutura em blocos é, também, aceitável para essa cultura. Solos, cuja estrutura foi modificada pela ação da pressão de máquinas e animais, ou seja, apresentam estrutura em placas horizontais devido a compactação, apresentam restrições ao movimento de água e à penetração das raízes. Os solos que não apresentam estrutura alguma são considerados os piores, pois praticamente não apresentam espaço vazio entre suas partículas, que são encaixadas muito próximas umas das outras, o que impede a penetração de água e das raízes. A ausência de estrutura é, normalmente, relacionada à alta densidade do solo (THORNTON, et al., 2008).

Os agregados do solo uma vez formados desapareceriam rapidamente se não fossem estabilizados, fato que depende da atividade microbiológica (MOLOPE; GRIEVE; PAGE, 1987).

Nos processos de formação e estabilização dos agregados, são envolvidas substâncias que agem na agregação e na estabilização, sendo, principalmente: argila, sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, exsudatos orgânicos e substâncias orgânicas provenientes da ação dos microrganismos (SILVA; MIELNICZUK, 1997). Tisdall (1994), em ampla revisão, resume que em muitos solos, raízes e hifas de fungos, especialmente as de micorrizas arbusculares, estabilizam macroagregados (diâmetro maior que 250µm). O autor assinala que fungos saprofitos também podem estabilizar macroagregados, sendo algumas espécies mais eficientes que outras. Tisdall e Oades (1982) explicam que os agregados de diâmetro superior a 2,0 mm, estáveis em água, consistem em agregados e partículas mantidos juntos principalmente pela fina rede de raízes e hifas, nos casos dos solos com teores de carbono elevado e, em solos com baixo conteúdo de carbono orgânico (inferior a 10 g.kg⁻¹), somente pelos agentes ligantes transitórios.

As raízes e a rizosfera proporcionam diversos efeitos sobre a agregação do solo, essas se emaranham com as partículas do solo e liberam exsudatos, que resultam em alterações físicas, químicas e biológicas que influenciam a agregação. A estabilidade dos agregados do solo é maior em solo da rizosfera e sofre efeito da quantidade, distribuição, taxa de deposição e de renovação das raízes. A rizosfera abriga grande

população de micro e macro-organismos, que contribuem para o aumento do carbono orgânico e agregação do solo. Os compostos mucilaginosos produzidos pela raiz, como o ácido poligalacturônico, pode estabilizar os agregados por aumento da força de ligação entre as partículas e por redução da sua velocidade de umedecimento, o que os preserva quando em contato com a água. As raízes aumentam os ciclos de umedecimento e secagem do solo ao seu redor, o que pode aumentar a estabilidade de agregados em alguns casos e reduzir em outros, o que possivelmente se deve ao tipo de argila. As raízes, ao alterar o balanço iônico e osmótico na rizosfera, por meio da absorção de nutrientes e de sua decomposição, podem afetar a agregação (BRONICK; LAL, 2005).

Outros autores também consideram o papel fundamental das raízes na formação de agregados estáveis mediante o suprimento de resíduos orgânicos para a decomposição (OADES, 1978), exsudações de substâncias orgânicas, aproximação de partículas e microagregados por dessecações provocados pela absorção de água (OADES, 1978) e envolvimento físico de microagregados do solo, especialmente no caso das gramíneas (TISDALL; OADES, 1979).

A quantidade de matéria orgânica depositada no solo por secreção, vazamento, autólise e descamação de células radiculares têm sido calculados entre 20 e 80% do peso seco das raízes. Os materiais liberados incluem substâncias de crescimento, aminoácidos, açúcares simples, ácidos orgânicos e sacarídeos. Todos esses materiais são liberados dentro da rizosfera e são assimilados ou modificados por muitos microrganismos na zona das raízes. Esses produtos das raízes associados à população microbiana são importantes para a estrutura do solo e sua estabilidade, sendo constituídos geralmente por polissacarídeos (GOSS, 1987).

O efeito agregador direto das raízes na granulação do solo é primeiramente baseado na pressão exercida pelo crescimento destas, a qual efetua uma separação das partículas adjacentes à raiz e uma pressão, junto dessas unidades, nos agregados (BAVER, 1940). Rizzo (2000), em outras palavras, explica que cada pelo radicular que penetra num torrão introduz um ponto de fraqueza no mesmo. A penetração abundante de pelos radiculares ou raízes através do torrão causa a formação de grânulos. A granulação é acompanhada por mudanças na umidade próxima do sistema radicular, como resultado da entrada de água na planta. Isso produz desidratação localizada, a qual leva à contração e à formação do agregado.

Existem dados que correlacionam o teor de carbono no solo com a estabilidade de agregados em áreas sob mata e sob cultivo (SILVA; MIELNICZUK, 1997). No entanto, em áreas com gramíneas perenes, o teor de carbono orgânico não foi suficiente para explicar a elevada quantidade e estabilidade de agregados, fato que indica haver outro fator, além do teor de matéria orgânica, responsável pela boa agregação e estabilidade desses. Outros trabalhos enfatizam a ação das raízes das plantas na formação e estabilização dos agregados do solo (TISDALL; OADES, 1979), entretanto, muitos pesquisadores têm destacado que, dentro do universo de plantas, as gramíneas perenes têm exercido maiores benefícios (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; PALADINI; MIELNICZUK, 1991; TISDALL; OADES, 1979; RIZZO, 2000). Esses efeitos benéficos são atribuídos, principalmente, à alta densidade de raízes (HAYNES; BEARE, 1997), que promove a aproximação de partículas pela constante absorção de água do perfil do solo, às periódicas renovações do sistema radicular e à uniforme distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados. Ainda, deve-se levar em consideração a maior capacidade de produção das plantas de metabolismo C₄ em clima

tropical (WEBSTER; WILSON, 1980), o que certamente lhe confere maior capacidade para incrementar o teor de matéria orgânica do solo.

Sistemas de preparo de solo associados à rotação de culturas influenciam a estabilidade e o tamanho de agregados. Nas condições do Estado do Mato Grosso do Sul, verificou-se significativa elevação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água quando o plantio direto foi associado à rotação de culturas, o que não se repetiu quando o sistema de preparo foi conduzido sem rotação. Quando uma das culturas do sistema é a pastagem, esses efeitos ocorrem de forma acentuada e relativamente rápida, provavelmente devido ao abundante sistema radicular formado pela pastagem logo após sua implantação (SALTON et al., 2008).

Verifica-se na literatura, muitos conceitos de preparo de solo que, se incorporados ao sistema de produção da batata, podem contribuir para a qualidade do solo. Um deles é o conceito de “cultivo preciso” (CARTER; TAVERNETTI, 1968), que foi desenvolvido na Califórnia e consiste em cultivo de 50 a 60 cm de profundidade abaixo da linha de plantio, conseguindo aumentos substanciais no rendimento da cultura do algodão, superiores aos obtidos com cultivo profundo realizado aleatoriamente no campo (BISHOP; GRIMES, 1978).

Outro conceito é o tráfego dirigido, que pode ser considerado como uma ferramenta promissora para minimizar a compactação do solo. Esse sistema restringe o trânsito do rodado a determinadas ruas, com diminuição da compactação e, potencialmente, promove o desenvolvimento da cultura (YOUNG, et al., 1993). Por meio desse sistema, foram obtidos aumentos no rendimento de cereais, batata e gramíneas (CARTER; MEEK; RECHEL, 1988; DICKSON; CAMPBELL; RITCHIE, 1992; DOUGLAS; CAMPBELL; CRAWFORD, 1992).

Com a utilização do tráfego dirigido, obteve-se um rendimento na produção de batata 18% superior ao sistema convencional, devido à maior porosidade do solo ao ar nas épocas úmidas e menor resistência à penetração nas épocas secas (DICKSON; CAMPBELL; RITCHIE, 1992). Durante a colheita, o sistema convencional produziu 34% mais torrões. Em outras avaliações, nesse mesmo experimento, a área foliar e a massa de matéria seca de folhas, caules e tubérculos foram consistentemente maiores no tráfego dirigido (YOUNG et al., 1993). Os autores também encontraram interceptação de radiação 5% maior pelas plantas no tráfego dirigido em comparação ao convencional estando, esses parâmetros, relacionados ao aumento da produtividade.

Em solos com camadas compactadas abaixo de 30 cm, o método mecânico de preparo empregado deve ser o da subsolagem (RIZZO, 2000). O cultivo profundo é empregado como um meio de reduzir problemas físicos e biológicos, que criam condições inadequadas de solo. Dessa forma, espera-se que o preparo profundo, em solos compactados, promova a aeração e a drenagem, assim como reduza a população de determinados patógenos de solo, promovendo a sua sanidade (LABUSCHAGNE; JOUBERT, 2006).

Apesar dos efeitos positivos da descompactação mecânica do solo, existem evidências de que esses efeitos são de curta duração. Por exemplo, Busscher, Bauer e Frederick (2002) e Busscher et al. (1995) constataram que o efeito da subsolagem é temporário, uma vez que a reconsolidação do solo aumenta com o volume cumulativo de precipitações. Segundo esses autores, em solos estruturados, a reconsolidação pode ser influenciada pela dinâmica da água no espaço poroso inter e intra-agregados e pode ser afetada também pelo selamento superficial ou pela estabilidade estrutural, que pode modificar a quantidade de água que infiltra no solo.

Dessa forma, é essencial a associação dos métodos mecânicos aos métodos vegetativos, pois enquanto os métodos mecânicos promovem o cisalhamento e a quebra das camadas compactadas, os métodos vegetativos envolvem uma complexa relação entre as raízes, micro e meso fauna, que resulta em produtos variados, reagregando o solo (RIZZO, 2000). Assim, enquanto os métodos mecânicos rompem as camadas de impedimento, os vegetativos vão proporcionar a sua estruturação, dificultando o readensamento. Além disso, os sistemas radiculares profundos e agressivos complementam a ação mecânica do implemento, crescendo em camadas de solo compactadas (ABREU; REICHERT; REINERT, 2004), o que é mais evidente quando se utilizam gramíneas (RIZZO, 2000).

CONCLUSÃO

O que foi exposto ao longo da presente revisão evidencia que o sistema de manejo do solo para produção da batata deve, necessariamente, proporcionar condições físicas e biológicas de solo suficientemente adequadas para a sustentabilidade dessa cultura, considerando-se todos os conceitos de qualidade do solo aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

ABBA. Disponível em: <http://www.abbabatatabrasileira.com.br>. Acesso em 27 abr. 2009.

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 519-531, 2004.

ALABOUVETTE, C. Fusarium wilt suppressive soils: an example of disease-suppressive soils. **Australasian Plant Pathology**, Collingwood, v. 28, p. 57-64, 1999.

BARBER, B. A.; GUNN, K. B. The effect of mechanical forces on the exudation of organic substances by the roots of cereal plants grown under sterile conditions. **New Phytologist**, Oxford, v.73, n.1, p.39-45, 1974.

BAVER, L. D. **Soil Physics**. New York: John Wiley, 1940. 370 p.

BISHOP, J. C.; GRIMES, D.W. Precision tillage effects on potato root and tuber production. **American Potato Journal**, Orono, v. 55, n.2, p. 65-71, 1978.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: Robert Krieger Publishing, 1976. 482 p.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v.124, n.1/2, p.3-22, 2005.

BUSHNELL, J. Exploratory study of the rate of oxygen consumption by potato roots. **American Potato Journal**, Orono, v.33, p.203-210, 1956.

BUSSCHER, W. J.; EDWARDS, J. H.; VEPRASKAS, M. J.; KARLEN, D. L. Residual effects of slit tillage and subsoiling in a hardpan soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 35, p. 115-123, 1995.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.68, p.49-57, 2002.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.99-105, 1990.

CARTER, L. M.; TAVERNETTI, J.R. Influence of precision tillage and soil compaction on cotton yields. **American Society of Agricultural Engineers Transactions**, Saint Joseph, v.11, p.65-67, 1968.

CARTER, L.; MEEK, B.; RECHEL, E. Zone production research with wide tractive research vehicle. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ISTRO, 1., 1988, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh: ISTRO, 1988. p. 221-226.

COOK, R. J. Use of pathogen-suppressive soils for disease control. In: SCHNEIDER, R.W. **Suppressive soils and plant disease**. St Paul: American Phytopathological Society, 1982. chap.2 p. 51-65.

COOK, R. J.; BAKER, K. F. **The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens**. St Paul: American Phytopathological Society, 1983, 539 p.

DASBERG, S.; BAKKER, J.W. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.62, p.689-692, 1970.

DE BOER, S. H. Managing soft rot and ring rot. In: JOHNSON, D.A. (Ed.). **Potato health management**. 2nd ed. Saint Paul: The American phytopathological society, 2008. chap.18, p.171-182.

DICKSON, J. W.; CAMPBELL, D. J.; RITCHIE, R. M. Zero and conventional traffic systems for potatoes in Scotland, 1987-1989. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.24, p.397-419, 1992.

DOUGLAS, J. T.; CAMPBELL, N. J.; CRAWFORD, C. E. Soil and crop responses to conventional, reduced ground pressure and zero traffic systems for grass silage production. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 24, p. 421-439, 1992.

FAO. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em 15 ago. 2007.

GOSS, M. J. The specific affects of roots on the regeneration of soil structure. In: WORKSHOP ON SOIL COMPACTION, 1., 1987, Avignon. **Proceedings...** Rotterdam: Comission of the European Communities, 1987.

GUINI, R.; ZARONI, M.H. Relação entre coberturas vegetais e supressividade de solos a *Rhizoctonia solani*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília v.26, p.10-15, 2001.

HAYNES, R. J.; BEARE, M .H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.29, p. 1647-1653, 1997.

HONEYCUTT, C. W., CLAPHAM, W. M., LEACH, S. S. Crop rotation and N fertilization effects on growth, yield, and disease incidence in potato. **American Potato Journal**, Orono, v.73, p.45-61, 1996.

JACKSON, I. P. The relation of soil aeration to the growth of potato sets. **American Potato Journal**, Orono, v.58, p.436-438, 1962.

JOUBERT, D. **Relationship between soil compaction and Phytophthora root rot of citrus**. 1993. 123 p. Dissertação (Master in Agronomy) - University of Pretoria, Pretoria, 1993.

JOUBERT, D.; LABUSCHAGNE, N. Effect of soil compaction on *Phytophthora nicotianae* root rot of Rough lemon and Troyer citrange seedlings. **African Plant Protection**, Pretoria, v. 4, p. 123-128, 1998.

KEW, K. L.; ZENTMEYER, G.A. Chemotatic response of zoospores of five species of *Phytophthora*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 63, p. 1511-1517, 1973.

KINKEL, L. Soil health: managing the soil microflora to enhance potato health. In: JOHNSON, D.A. (Ed.) **Potato health management**. 2nd ed. Saint Paul: The American phytopathological society, 2008. chap.3 p.11-14.

LABUSCHAGNE, N.; JOUBERT, D. Profile modification as a means of soil improvement: promoting root health through deep tillage. In: UPHOFF, N.; BALL, S.A.; PALM, C. **Biological Approaches to Sustainable Soil Systems**. Boca Raton: CRC Press, 2006. chap.38, p. 547-558.

LABANAUSKAS, C. K.; STOLZY, L. H.; KLOTZ, L. J.; DEWOLFE, T. A. Effects of soil-oxygen and irrigation on the accumulation of macro and micronutrientes in citrus seedlings (*Citrus sinensis* var. Osbeck). **Soil Science**, New Jersey, v.101, p.378-384. 1966.

LAMBERS, H. Growth, respiration, exsudation and symbiotic associations: the fate of carbon translocated to the roots. In: GREGORY, P. J.; LAKE, J. V.; ROSE, D. A. (Ed.). **Root development and function**. Cambridge: Society for experimental biology, 1988. chap.4 p. 125-147.

LOPES, C. A.; QUEZADO-SOARES, A. M. **Doenças bacterianas das hortaliças: diagnose e controle**. Brasília: EMBRAPA – CNPH, 1997. 70 p.

LUMSDEN, R. D.; LEWIS, J. A.; PAPAVIDAS, G. C. Effect of organic amendments on soilborne plant diseases and pathogen antagonists. In: LOCKERETZ, W. (Ed.). **Environmentally Sound Agriculture**. New York: Praeger Press, 1983. chap.2 p. 51-70.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2th ed. London: Academic Press, 1995. 887 p.

MOLOPE, M. B.; GRIEVE, I. C.; PAGE, E. R. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.38, p.71-77, mar. 1987.

OADES, J. M. Mucilages at the root surface. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.29, p.1-16, 1978.

PALADINI, F. L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, p.135-140, 1991.

PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA, 2003. 567 p.

POWELSON, M. L.; ROWE, R. C. Managing diseases caused by seedborne and soilborne fungi and fungus-like pathogens. In: JOHNSON, D.A. (Ed.) **Potato health management**. 2nd ed. Saint Paul: The American phytopathological society, 2008. chap.19 p.183-196.

RIZZO, L. T. B. **Indicadores da resiliência do latossolo vermelho escuro cultivado com citros e eucalipto em Itapetininga-SP**: recuperação de um solo degradado pela compactação. 2000. 200p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.11-21, 2008.

SCHER, E. M.; BAKER, R. Mechanism of biological control in a *Fusarium*-suppressive soil. **Phytopathology**, Saint Paul, v.70, p.412-417, 1980.

SCHIPPERS, B. Prospects for management of natural suppressiveness to control soilborne pathogens. In: TJAMOS, E.C.; PAPAVIDAS, G.C.; COOK, R.J. **Biological control of plant diseases**. New York: Plenum Press, 1992. chap.2, p. 21-34.

SCHNEIDER, R.W. **Suppressive soils and plant disease**. St Paul: American Phytopathology Society, 1982. 88 p.

SILVA, I.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.313-331, 1997.

SMUKER, A. J. M.; ERICKSON, A. E. Anaerobic stimulation of root exudates and diseases of peas. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.99, p.423-433, 1987.

SOJKA, R. E. Soil oxygen effects on two determinate soybean isolines. **Soil Science**. New Jersey, v.140, p.333-343, 1985.

STALHAM, M. A.; ALLEN, E.J.; ROSENFELD, A.B.; HERRY, F.X. Effects of soil compaction in potato (*Solanum tuberosum*) crops. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.145, p.295-312, feb. 2007.

THORNTON, M.; STARK, J. HOPKINS, B. G.; THORNTON, R. E. Selecting and preparing the planting site. In: JOHNSON, D. A. (Ed.). **Potato health management**. 2nd ed. Saint Paul: The American phytopathological society, 2008. chap.5 p.23-30.

TISDALL, J. M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.159, 115-121, 1994.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.17, p.429-441, 1979.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.

TOKESHI, H.; BERGAMIN FILHO, A. Doenças da batata - *Solanum tuberosum* L. In: GALLI, F. **Manual de fitopatologia**. 2 ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. cap. 5 p. 102-140.

TOKESHI, H. Controle de *Sclerotinia sclerotiorum* com microrganismos eficazes. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.23, p.146-154, 1997.

WALTERS, H. J. Disease control. **Crops and soils magazine**, Madison, v.32, p.7-8, 1980.

WEBSTER, C. C.; WILSON, P. N. **Agriculture in the tropics**. 2nd Ed. London: Longman Group. 1980. 640p.

WENGEL, R.W. Emergence of corn in relation to soil oxygen diffusion rates. **Agronomy Journal**. Madison, v.58. p.69-72, 1966.

WILCOX, W.; MIRCETICH, S. M. The influence of different levels of soil moisture on *Phytophthora* root rot and crown rot of Mahaleb cherry rootstock. **Phytopathology**, Saint Paul, v.69, p.1049-1050, 1979.

XU, X.; NIEBER, J. L. GUPTA, S. C. Compaction effects on the gas diffusion coefficients in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.1743-1750, 1992.

YOUNG, I. M.; BENGOUGH, A. G.; MACKENZIE, C. J.; DICKSON, J. W. Differences in potato development (*Solanum tuberosum* cv. Maris Piper) in zero and conventional traffic treatments are related to soil physical conditions and radiation interception. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 26, p. 341-359, 1993.