**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Sistema de preparo profundo de solo e sucessão de gramíneas para o plantio
da batata (*Solanum tuberosum* L.)**

Carlos Francisco Ragassi

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Fitotecnia**

**Piracicaba
2009**

Carlos Francisco Ragassi
Engenheiro Agrônomo

**Sistema de preparo profundo de solo e sucessão de gramíneas para o plantio da batata
(*Solanum tuberosum* L.)**

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN**

Dissertação apresentada para obtenção do título
de Mestre em Agronomia. Área de concentração:
Fitotecnia

**Piracicaba
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Ragassi, Carlos Francisco

Sistema de preparo profundo de solo e sucessão de gramíneas para o plantio da batata
(*Solanum tuberosum* L.) / Carlos Francisco Ragassi. - - Piracicaba, 2009.
82 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Batata 2. Compactação do solo 3. Doenças de plantas 4. Gramíneas forrageiras 5.
Manejo do solo 6. Preparo do solo 7. Solos - Qualidade I. Título

CDD 633.491
R141s

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo PACES – Projetando Agricultura Compromissada em Sustentabilidade, que concretizou este trabalho.

Ao Professor Dr. José Laércio Favarin pela oportunidade de tê-lo como orientador e de participar das criativas e providenciais realizações de sua equipe.

Ao Professor Dr. Hasime Tokeshi e Senhora Mitsue Tokeshi por estarem sempre presentes, além de compartilharem seus conhecimentos transformadores.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de estudo no período de fevereiro de 2007 a março de 2008.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela concessão de bolsa de estudo e reserva técnica referente ao período de abril a dezembro de 2008.

Ao Professor Dr. Paulo César Tavares de Melo por lutar pela implantação dos projetos do Grupo PACES em nossa Escola, pelo incentivo e pelas inúmeras oportunidades que nos foram proporcionadas.

À Professora Dra. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso pelo amor ao solo e pela orientação, confiança e incentivo.

Ao Professor Dr. Carlos Armênio Khatounian pelo diálogo e por compartilhar com nosso Grupo a sua visão do mundo.

A todos os funcionários do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP por facilitar a realização do experimento em campo.

Ao Senhor Roberto Shiniti Sako, Senhora Alice Sako e Henry Sako pela amizade incondicional e por idealizar e conceber o presente trabalho.

À MAFES Equipamentos Agrícola pelos feitos transformadores, pelo aprendizado e por proporcionar, além das máquinas para o preparo de solo e plantio da batata, todo o necessário para a realização deste trabalho.

Ao Grupo Nascente, São Gotardo, MG, pelo acompanhamento e pela doação da batata semente.

À IHARA, por sua constante presença, diálogo e doação dos produtos para o manejo fitossanitário da cultura.

À Bunge, Mitsui e Minercal pela doação dos fertilizantes e corretivos.

À Senninger do Brasil pela doação dos aspersores.

À Fundação Mokiti Okada, especialmente ao Centro de Pesquisas Mokiti Okada de Ipeúna, SP, por nos receber de portas abertas e também pela convivência e pela oportunidade de utilizar seus laboratórios.

Ao Dr. Carlos Alberto Lopes pelo aprendizado e pelas construtivas sugestões ao trabalho.

À Professora Dra. Marisa de Cássia Piccolo, CENA, USP, por disponibilizar seu laboratório para realização de nossas análises.

À Engenheira Agrônoma MSc. Marilise Souza Ragassi Inoue pela criteriosa revisão e construtivas sugestões ao presente trabalho.

À Divisão de Biblioteca e Documentação da ESALQ/USP, em especial à Sílvia Maria Zinsly, pela atenção, revisão e adequação do trabalho às normas.

Ao GEA (Grupo de Experimentação Agrícola) ESALQ/USP pela fundamental colaboração nos momentos cruciais da execução do experimento em campo.

Aos colegas do “sub-solo” do prédio da Agricultura Ana Paula Neto, André Rodrigues dos Reis, Guy Mitsuyuki Tsumanuma, Halan Vieira, Paula Rodrigues Salgado, Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida, (Felipe) Rafael Tadeu de Assis e Tiago Tezotto pela cooperação, amizade e convivência diária.

A todos os amigos, especialmente a Gregori da Encarnação Ferrão, Isabela Gomes Pires, Cristiane da Silva Costa, Maria Letícia Cabral Martinez, à Vó Iolanda, Fátima Marrafon, Renata Rossin, Karen Nize Sobral de Lima, Isabeli Pereira Bruno, Paula Andréa Francisco de Oliveira, Adalgisa Thayne Munhoz Ramos, Ana Carolina Ribeiro Dias, Iracema Alves Manoel Degaspari, Júlio César Vieira Frare, Gabriel Moura Mascarin, Valesca Pandolfi, Fábio Akio Shiraishi, Caio Vinícius Cintra Diniz, Murillo Grespan da Rocha e Daniela Quagliuolo Marinheiro por todos os momentos durante o maravilhoso e intenso período vivido em Piracicaba.

À maravilhosa família, em especial a José Carlos Ragassi e Judite Maria de Souza Ragassi pelo apoio incondicional e constante à realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Cultura da batata.....	15
2.2 Qualidade do solo.....	19
2.3 Supressividade do solo a doenças.....	25
2.4 Agregação do solo.....	27
2.5 Sistema de preparo profundo de solo para a cultura da batata.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Campo experimental.....	33
3.2 Preparo de solo.....	35
3.3 Massa de palha produzida pelas gramíneas.....	37
3.4 Quantidade de raízes produzida pelas gramíneas.....	37
3.5 Avaliação visual da cultura da batata aos 29 dias após o plantio.....	37
3.6 Resistência do solo à penetração.....	37
3.7 Macroporosidade e densidade do solo.....	38
3.8 Estabilidade de agregados.....	39
3.9 Produtividade e danos nos tubérculos.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 Massa de parte aérea produzida pelas gramíneas.....	47
4.2 Quantidade de raízes.....	48
4.3 Avaliação visual da cultura da batata aos 29 dias após o plantio.....	50
4.4 Resistência do solo à penetração.....	52
4.5 Macroporosidade e densidade do solo.....	56
4.6 Estabilidade de agregados.	60
4.7 Produtividade e danos nos tubérculos.....	65
5 CONCLUSÕES.....	71
REFERÊNCIAS.....	73

RESUMO

Sistema de preparo profundo de solo e sucessão de gramíneas para o plantio da batata (*Solanum tuberosum* L.)

A produção de batata no Brasil é migratória, devido à alta ocorrência de doenças de solo onde seu cultivo é realizado anualmente após a cultura do milho (*Zea mays*) e o preparo de solo é feito com grade aradora, implemento cujo uso freqüente estabelece impedimentos físicos. O presente trabalho avaliou um sistema de preparo profundo de solo associado ao cultivo de três diferentes gramíneas *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e milho híbrido 'Dekalb 191' quanto a sua capacidade de promover melhores condições físicas de solo, assim como sua influência sobre a produtividade e ocorrência de doenças na cultura da batata. O preparo de solo alternativo foi capaz de promover melhores condições físicas de solo e, mesmo após dois ciclos da sucessão de culturas, não houve influência da espécie de gramínea utilizada sobre os parâmetros avaliados, embora essas plantas tenham apresentado características diferentes quanto à produção de raízes e de parte aérea. As melhores condições físicas de solo foram responsáveis pelo aumento da produtividade e da qualidade de tubérculos, obtido com o preparo profundo de solo, mas não influenciou a ocorrência de doenças e de outros danos aos tubérculos. A incidência de doenças em geral foi baixa e isso indica que um trabalho com maior número de ciclos da sucessão de culturas seria necessário para testar a hipótese de que o sistema de preparo de solo e sucessão de culturas avaliado descartaria a necessidade de migração na cultura da batata.

Palavras-chave: Gramínea; Compactação; Manejo de solo; Doenças da batata; Doenças de solo; Horticultura

ABSTRACT

Soil deep tillage system associated to grasses for the potato crop (*Solanum tuberosum* L.)

Potato crop migrates continually in Brazil, due to the high incidence of soil diseases where potato is cultivated every year after a maize (*Zea mays*) crop cycle and when chisel plough, which causes sub-superficial compaction, is used for soil management. This work evaluated a soil deep tillage system associated to three different grasses, *Panicum maximum* cv. Tanzânia, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu and maize 'Dekalb 191' in order to improve soil physical conditions and to reduce potato soil diseases incidence. The soil deep tillage system improved soil physical conditions and, although the evaluated grasses presented different characteristics of root and shoot production, the grass specie did not influence the evaluated soil parameters and potato productivity after two years of research. The soil physical improvement promoted higher potato yield and quality in the soil deep tillage system but did not influence diseases incidence and other damages to the tubers, assessed after harvesting. The average disease incidence was low, which meant a longer term work was necessary to show if the soil deep tillage system associated to grasses would avoid the Brazilian potato crop migration.

Keywords: Grass; Compaction; Soil management; Potato disease; Soil disease; Horticulture

1 INTRODUÇÃO

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 seu cultivo é realizado, em geral, após a cultura do milho (*Zea mays*), em “preparo horizontal” de solo, ou seja, feito superficialmente, nos primeiros 20 cm de solo com grade aradora, cuja ação freqüentemente proporciona o aparecimento de impedimentos mecânicos (compactação) abaixo da camada de solo preparada, o que ocorre em razão de impactos provocados nas partículas de solo pela ação do implemento. A compactação subsuperficial prejudica diretamente o crescimento radicular devido à resistência mecânica à penetração das raízes e, indiretamente, devido à má drenagem e à restrição na difusão de gases.

A batateira é extremamente sensível à compactação 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 consequência 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.

Nestas condições, pode-se afirmar que o “preparo horizontal” e a correção superficial dos primeiros 20 cm não são adequados para a sustentabilidade da bataticultura, como indica a ocorrência de compactação e os elevados riscos bióticos. A recuperação de solos compactados depende do restabelecimento de sua estrutura natural, visto que as intervenções mecânicas de descompactação, mesmo com a utilização de tráfego dirigido (YOUNG et al., 1993), possuem efeito efêmero, que é perdido em razão dos fatores ambientais, especialmente a precipitação acumulada. A estrutura do solo, por sua vez, é mantida por processos dinâmicos que são

alimentados pelo constante fornecimento de matéria orgânica e, nesse sentido, resultados obtidos com o cultivo de gramíneas têm sido superiores aos conseguidos com outras culturas, também utilizadas para a melhoria do solo.

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 seu cultivo anual na mesma área.

Com a finalidade de oferecer condições físicas, químicas e biológicas suficientemente adequadas para a cultura da batata, se desenvolveu o sistema de “preparo vertical” de solo que foi avaliado na presente pesquisa. Esse sistema consistiu no uso de implementos de ação profunda, tráfego dirigido (YOUNG et al., 1993), cultivo preciso (BISHOP; GRIMES, 1978; SOJKA et al., 1993), correção física do solo a 80 cm de profundidade para alívio das camadas compactadas do solo criadas pelo longo período de utilização do preparo convencional (LABUSCHAGNE; JOUBERT, 2006) e uso de gramíneas como cultura prévia ao cultivo da batata.

Por hipótese, se admitiu, no presente trabalho, que a natureza migratória da bataticultura, inerente ao emprego do “sistema de preparo de solo horizontal” ou superficial poderia ser modificada pelo uso do “sistema de preparo de solo vertical” ou profundo, pela possibilidade de proporcionar, primeiramente, melhorias nos atributos físicos e químicos numa faixa de 1,1 m de largura por 80 cm de profundidade. Aos efeitos físicos e químicos, adviria o ajuste do atributo biológico, que seria proporcionado pela realização, a cada ciclo da batata, da sucessão com gramíneas forrageiras. Assim, com a presença de resíduos vegetais, haveria um aumento de até duas vezes no volume de macroporos em relação ao “preparo horizontal”, o que tornaria o solo supressivo às doenças favorecidas por ambiente encharcado. Dessa forma, a eliminação de barreiras físicas, químicas e biológicas poderia ser suficiente para viabilizar o cultivo anual de batata na mesma área agrícola, em substituição à sua característica nômade, assim como poderiam ser obtidos maior desenvolvimento e produtividade da cultura.

Esta pesquisa foi realizada com objetivo de avaliar a influência de dois sistemas de preparo de solo para a cultura da batata (“preparo horizontal” ou raso e “preparo vertical” ou profundo) associado ao cultivo em sucessão de gramíneas (*Panicum maximum* cv. Tanzânia,

Brachiaria brizantha cv. Marandu e *Zea mays* L.) nos atributos do solo, produtividade da batata (*Solanum tuberosum* L.) e na incidência de doenças na cultura e no produto colhido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cultura da batata

A batata, *Solanum tuberosum* L., é fundamental para a segurança alimentar de centenas de milhões de pessoas nos países em desenvolvimento, onde o consumo *per capita* anual 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.

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 kg.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.

Como a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas ocorre de forma ativa, 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 O₂ 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. Nesses experimentos, os dados de campo evidenciaram que a porosidade 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 porosidade do solo pela cultura da batata era superior à de outras culturas devido ao seu maior consumo de oxigênio, de 6,7 a 12 ml de O₂. h⁻¹.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. 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 consequência 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 após secagem do solo, o que geralmente não ocorre nas áreas de plantio comercial. Nessas áreas, a compactação é causada principalmente 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).

Em uma série de experimentos na Inglaterra, verificou-se que a compactação do solo atrasou a emergência, reduziu a taxa de expansão da área foliar, reduziu o ciclo da batateira e restringiu a interceptação de luz, fatores que, combinados, prejudicaram o rendimento em tubérculos (STALHAM et al., 2007). A densidade de raízes e a profundidade máxima de enraizamento foram reduzidas, particularmente onde a compactação apresentava-se em camadas mais rasas. Nos sulcos de plantio intensivamente preparados, a taxa de penetração das raízes da

batateira foi de 2 cm.dia⁻¹ e reduziu à metade em locais com resistência a penetração de 1,5 MPa (Mega Pascal), medidas com uso de penetrômetro. Em uma amostragem de 602 campos comerciais daquele país, dois terços dos campos apresentaram resistência à penetração superior a 3 MPa e taxas de crescimento radicular inferiores a 0,2 cm.dia⁻¹ nos 55 cm superficiais. Assim, a profundidade de enraizamento da cultura, devido à restrição física, mostrou-se aquém do ideal, levando à ineficiência de utilização da água e dos nutrientes (STALHAM et al., 2007).

Desde a década de 1920, quando passou a ser cultivada em escala comercial, no Estado de São Paulo, o manejo da cultura da batata se baseou em práticas agrícolas importadas de países de clima temperado. Sob o aspecto ambiental, o sistema convencional de produção de batata pode ser considerado, junto ao de tomate, maçã, uva e outras hortícolas, como um dos mais agressivos ao ambiente e ao homem (FIOREZE, 2005). Em média, no Brasil, os produtores de batata fazem de 10 a 25 aplicações de agrotóxicos e fornecem 2.811 kg.ha⁻¹ de adubo mineral, de acordo com a Associação Brasileira da Batata (ABBA, 2009).

Plantios contínuos de batata podem resultar em até 58% das plantas apresentando lesões no caule causadas por *Rizoctonia 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.

Por outro lado, em um trabalho realizado em áreas de produção comercial de batata na Chapada Diamantina (BA) (MITSUIKI, 2006), se observou que o cultivo da batata após gramíneas, associado ao preparo profundo de solo, proporcionou resultados positivos sobre as propriedades físicas do solo, como resistência à penetração e à infiltração de água, com aumento da produtividade e redução de danos aos tubérculos. Em outro trabalho, observou-se que a cultura utilizada anteriormente ao plantio da batata influenciou significativamente a produtividade de tubérculos, obtendo-se maior produtividade com uma gramínea - o centeio, do que com nabo forrageiro, uma crucífera (BOLLER; PREDIGER, 2001).

Para o controle 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, conseqüentemente, tende 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).

2.2 Qualidade do solo

A qualidade ou fertilidade do solo pode ser definida como a sua capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da terra (DORAN; PARKIN, 1994) e a história do desenvolvimento da agricultura no Brasil está diretamente ligada a ela. Os grandes ciclos da cana-de-açúcar e do café alicerçaram-se, no início, na fertilidade natural dos solos das matas e na migração para novas áreas, quando essa fertilidade natural se exauria (LOPES; GUILHERME, 2007).

No período colonial, o sistema tradicional de produção de café no Brasil incluía a derrubada da mata, a queima da madeira e o plantio da lavoura nas áreas desmatadas. A fertilidade natural do solo era explorada por 20 ou 30 anos e, após esse período, a produtividade geralmente declinava aquém do interesse, quando, então, as áreas eram abandonadas e destinadas a pastagens e exploração da pecuária. Já nessa época, a prática de “derrubar e queimar” havia consumido a maior parte da mata virgem do Estado de São Paulo (LOPES; GUILHERME, 2007).

A perda da fertilidade do solo após conversão do ecossistema nativo para a agricultura está diretamente ligada à perda de matéria orgânica do solo (MOS), que é um dos indicadores mais importantes para se medir a qualidade do solo (LOPES; GUILHERME, 2007), pois a maioria dos seus atributos, responsáveis pelas suas funções básicas, tem estreita relação com esse indicador (MIELNICZUK, 2008), tais como a estabilidade e agregação das partículas de solo, que reduzem a erosão; armazenamento e fluxo de água e de ar, armazenamento e provimento de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e enxofre; retenção de carbono da atmosfera e de outras fontes, retenção de nutrientes como cálcio, magnésio e potássio, devido ao aumento da capacidade de troca de cátions do solo; provimento de carbono e energia para os microrganismos

do solo, redução de possíveis efeitos ambientais negativos decorrentes de uso inadequado de pesticidas ou de disposição de poluentes no solo e manutenção do solo menos compactado, mais fácil de se trabalhar (LOPES; GUILHERME, 2007).

A biosfera terrestre armazena aproximadamente 1500 Pg ($1,0 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$) de carbono nos primeiros 100 cm de solo e outros 600 Pg na vegetação, que somados equivalem a três vezes a quantidade de carbono contida na atmosfera. Portanto, mudanças nos estoques de C da vegetação e/ou do solo podem causar impactos significativos nas concentrações de dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa. Os estoques de carbono do solo são controlados por uma variedade de fatores climáticos e biogeoquímicos e são diretamente influenciados por mudanças no uso e ocupação da terra, em particular pela conversão de ecossistemas nativos em áreas cultivadas para agricultura e pecuária. Em ecossistemas nativos, a matéria orgânica do solo está em equilíbrio dinâmico, ou seja, as entradas e saídas se compensam. Quando o sistema nativo é alterado por atividades humanas, o equilíbrio dinâmico é rompido e, normalmente, as entradas naqueles estoques são menores do que as saídas, o que resulta na menor quantidade e na modificação da qualidade da matéria orgânica do solo (CERRI et al., 2008).

A MOS é constituída basicamente por carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N), enxofre (S) e fósforo (P). Nesse contexto, o C compreende cerca de 60% da MOS, H 6%, O 30%, enquanto N, S e P contribuem com cerca de 3%, individualmente. A entrada de C no solo está relacionada, principalmente, ao aporte de resíduos da biomassa aérea e radicular das plantas, liberação de exsudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais pelos macro e microrganismos do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

A matéria orgânica do solo desempenha papel essencial na estabilidade dos domínios (agregados de diâmetro inferior a $2,0 \mu\text{m}$) por meio de interações entre seus grupos funcionais carboxila e hidroxila e a superfície de partículas minerais de tamanho argila, um processo também chamado de interação organomineral. Seu papel na estabilização de microagregados (diâmetro de 2 a $250 \mu\text{m}$) está associado à ação de mucilagens e exsudados de origem microbiana e vegetal sobre os organominerais. Nos macroagregados (diâmetro superior a $250 \mu\text{m}$), a fração orgânica constituída por material vegetal não totalmente decomposto, também denominada matéria orgânica livre (MOL) ou particulada, desempenha um papel fundamental. Esses fragmentos de raízes e parte aérea servem como “núcleos”, ao redor dos quais os domínios e os

microagregados permanecem aderidos. Essa formação equivale ao mais alto nível de estruturação do solo, ou seja, o macroagregado, com grande quantidade de energia e matéria retida em seu interior, na forma de compostos orgânicos. Quanto mais avançado o estado da sua estrutura, maior a capacidade do solo em exercer as suas funções no ecossistema (VEZZANI et al., 2008).

A formação dos agregados é resultado dos fluxos de energia e matéria que ocorrem entre os componentes do sistema agropecuário de produção e representa o grau de organização do solo. Numa fase preliminar, a formação de microagregados está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com os compostos orgânicos. Posteriormente, o crescimento de raízes e hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis, com tamanho superior a 0,25 mm. Essas estruturas correspondem a um nível de organização mais elevado. A ocorrência de fluxos de energia reduzidos resulta em nível de organização baixo, em que a estrutura do solo é simples, com predomínio de microagregados, ao passo que com elevado fluxo de energia e matéria, o nível de organização atingido é superior. Ressalta-se que há agregados maiores e formação de estruturas grandes e complexas. Assim, solos que apresentam maior agregação podem ser considerados em estado de ordem superior ao de solos semelhantes com menor agregação (VEZZANI, 2001).

Assim sendo, manter e aumentar o teor de MOS são condições primordiais para evitar a diminuição da fertilidade dos solos e para garantir sua qualidade e seu funcionamento em agroecossistemas produtivos (LOPES; GUILHERME, 2007).

O conteúdo de matéria orgânica do solo é determinado pela diferença entre as quantidades de carbono (C) adicionadas ($k_1 \cdot A$) e perdidas ($-K_2 \cdot C$), sendo sua variação temporal expressa pela eq. 1 (BAYER; MIELNICZUK, 2008):

$$dC/dt = (k_1 \times A) - (k_2 \times C) \quad (1)$$

em que, A representa o carbono fotossintetizado adicionado ao solo na forma de resíduos, exsudatos radiculares e raízes ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$); C consiste no carbono da matéria orgânica no solo ($t \cdot ha^{-1}$) contido numa determinada camada de solo; os coeficientes k_1 e k_2 representam, no tempo de um ano, (k_1) a fração do carbono adicionado (A) efetivamente retido no solo na forma de matéria orgânica e (k_2) a fração do carbono na matéria orgânica do solo perdido pela

decomposição microbiana, erosão e lixiviação, respectivamente (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Os valores de k_1 do C adicionado pela parte aérea das culturas são, em média, de 12,2%. Isso significa que do total de carbono da parte aérea adicionado ao solo, em média 87,8% é perdido (decomposto) de volta para a atmosfera e permanece no solo, após um ano, apenas 12,2%. O C adicionado pelo sistema radicular apresenta maiores valores de k_1 , o que tem sido relacionado não apenas aos maiores teores de lignina nas raízes, mas, principalmente, ao fato de, ao promover a agregação do solo, intensificar a proteção física do C adicionado diretamente em sua matriz (BAYER; MIELNICZUK, 2008; URQUIAGA et al., 1998). Na literatura, o valor médio de k_1 é igual a 21,1% para C derivado de raízes (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Nos ecossistemas tropicais intactos, as maiores taxas de decomposição da matéria orgânica, em comparação aos ecossistemas das regiões temperadas, são contrabalanceadas pela adição de maiores quantidades de C pela vegetação. Devido a isso, as florestas tropicais e temperadas apresentam solos com teores semelhantes de matéria orgânica, embora no clima tropical sua velocidade de decomposição seja muito superior (SANCHEZ, 1976). Porém, quando os solos tropicais são submetidos ao uso agrícola, seu estoque de matéria orgânica declina muito mais rapidamente. Nas regiões temperadas, ocorrem perdas equivalentes à metade do estoque original de matéria orgânica do solo entre 50 e 100 anos de cultivo, enquanto em regiões de clima quente e úmido, perdas similares ocorrem em períodos de apenas 10 a 15 anos, o que se deve às condições climáticas mais favoráveis à decomposição microbiana (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Assim, a quantidade de resíduos vegetais necessária para manutenção dos estoques de matéria orgânica no solo em regiões tropicais é muito superior àquela das regiões temperadas (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Como o aporte constante de matéria orgânica ao solo é fundamental para alimentar o processo dinâmico que mantém sua agregação, o baixo fornecimento de matéria orgânica resulta em desagregação (SILVA; MENDONÇA, 2007), o que torna o solo mais suscetível à erosão e à compactação. No entanto, as condições físicas do solo influenciam diretamente o crescimento radicular, pois, da mesma forma que a barreira química, as raízes, ao crescerem em solos compactados, apresentam modificações morfológicas (THOMPSON; JANSEN; HOOKS, 1987), como o aumento da espessura do córtex e redução da superfície, interferindo na absorção de água e nutrientes (BARLEY, 1962; BENGOUGH et al., 1997; TAYLOR; BRAR, 1991), além de

prejudicar o vigor e o rendimento (RUSANOV, 1991). O sistema radicular das culturas apresenta diferentes graus de tolerância à compactação, porém, de maneira generalizada, as plantas respondem a valores críticos, acima dos quais restringem seu crescimento (LAPEN et al., 2001; RADFORD et al., 2001). No geral, valores de resistência a penetração maiores que 2,0 MPa têm sido considerados fortemente restritivos ao crescimento das raízes e das plantas (TARDIEU, 1994).

Solos compactados apresentam condições desfavoráveis para o crescimento radicular, pois, o aumento da resistência à penetração reduz o número de macroporos, os quais são mais rígidos (LABUSCHAGNE; JOUBERT, 2006). Apresentam, também, drenagem reduzida (GUPTA; SHARMA; De FRANCHI, 1989), deficiente capacidade de troca de gases e, portanto, menos oxigênio chega à superfície das raízes.

Os poros do solo são classificados em termos de diâmetro em macroporos, mesoporos e microporos. Em geral, a dimensão de 30 μm de raio é considerada como o limite entre a macro e a microporosidade (BREWER, 1976). A principal função dos macroporos é de aeração da matriz do solo e condução da água durante o processo de infiltração. Isso afeta, portanto, a aeração e a drenagem. Os mesoporos têm como função a condução da água durante o processo de redistribuição, quando, após a infiltração, se esvaziam os macroporos. Os microporos, também chamados de poros capilares, atuam no armazenamento da água. Nestes poros, a água se move, mas muito vagarosamente (KOOREVAR; MENELIK; DIRKSEN, 1983).

Porosidade com ar de 10% é o mínimo necessário para a difusão de O_2 até as raízes, de maneira que a redução no volume de macroporos reduz a difusão de O_2 no solo (DEXTER, 1988; GLINSKI; LIPIEC, 1990; GRABLE; SIEMER, 1968; XU; NIEBER; GUPTA, 1992).

Um perfil de solo bem drenado internamente garante como regra geral, uma boa aeração do sistema radicular, pois, se forem volumosos os macroporos com ar, o processo de difusão de gases no solo é facilitado (OTTONI FILHO, 2003).

A realização de um preparo de solo baseado em revolvimento com arado e destruição dos agregados do solo em área total facilita a formação de camada compactada abaixo da camada arável (TOKESHI et al., 1997). Intensa desestruturação do solo e a subsequente movimentação vertical de argilas, seguida de deposição na subsuperfície, provoca a formação dessa camada, logo abaixo do volume de solo arável (CARVALHO JÚNIOR, 1995). Como essa camada possui menor permeabilidade, além de tornar o solo mais suscetível à erosão, proporciona o acúmulo de

água na região das raízes, formando um ambiente redutor, com possibilidade de profundas alterações químicas e biológicas (BRADY, 1979; PRIMAVESI, 2002; VEPRASKAS; WAGGER, 1990).

O encharcamento é uma consequência comum do preparo de solo convencional e sua permeabilidade é de difícil recuperação quando a atividade biológica é baixa, o que ocorre nos sistemas convencionais com intensa aplicação de fertilizantes e agrotóxicos (TOKESHI et al., 1997). 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). O encharcamento 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 primários da natureza, 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 o abrimento das lenticelas, também denominado lenticelose e, como essa abertura permite a entrada de patógenos, o tubérculo se torna 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.

2.3 Supressividade do solo a doenças

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; SHIPTON; COOK; SITTON, 1973).

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; PAPAVIZAS, 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.

2.4 Agregação do solo

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, 1997b). Tisdall (1994), em ampla revisão, resume que em muitos solos, raízes e hifas de fungos, especialmente as de micorriza vesicular arbuscular, estabilizam macroagregados (diâmetro maior que 250 μ m). O autor assinala que fungos saprofíticos 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 (BRADFIELD, 1937; 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 baseada 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.

Dados de estabilidade de agregados altamente correlacionados com o teor de carbono orgânico no solo em áreas sob mata e sob cultivo foram obtidos por (SILVA; MIELNICZUK, 1997b). 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, foi responsável pela boa agregação e estabilidade desses. Outros trabalhos enfatizam a ação das raízes das plantas na formação e estabilização dos agregados do solo (BRADFIELD, 1937; TISDALL; OADES, 1979), entretanto, muitos

pesquisadores têm destacado que, dentro do universo de plantas, as gramíneas perenes têm exercido maiores benefícios (BRADFIELD, 1937; 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 C_4 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).

2.5 Sistema de preparo profundo de solo para a cultura da batata

Com a finalidade de oferecer condições físicas, químicas e biológicas suficientemente adequadas para a cultura da batata, se desenvolveu o conceito de “preparo vertical” ou profundo de solo que foi avaliado no presente trabalho. Esse sistema consistiu no uso de implementos de ação profunda, tráfego dirigido (YOUNG et al., 1993), cultivo preciso (BISHOP; GRIMES, 1978; SOJKA et al., 1993), correção física do solo a 80 cm de profundidade para alívio das camadas compactadas do solo criadas pelo longo período de utilização do preparo convencional (LABUSCHAGNE; JOUBERT, 2006) e uso de gramíneas como cultura prévia ao cultivo da batata.

O conceito de “cultivo preciso” (CARTER; TAVERNETTI, 1968) foi desenvolvido na Califórnia por 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).

O tráfego dirigido 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 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.

Outro importante benefício do tráfego dirigido é o incremento do número de dias em que o solo está apto para ser trabalhado. De acordo com Young, et al. (1993), durante o período de seu trabalho, as condições físicas do solo no sistema de tráfego dirigido permitiram o início das atividades mecanizadas cinco dias antes em comparação ao sistema convencional, embora o solo sob tráfego dirigido se apresentasse mais úmido. Isso é de considerável importância prática no campo, em que é comum a realização do preparo de solo sob condições inadequadas de umidade devido ao pequeno intervalo de dias secos na época chuvosa.

Quando o solo apresenta camadas compactadas abaixo de 30 cm, o método mecânico 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, esperou-se, neste trabalho, que o preparo profundo promovesse a aeração e a drenagem, assim como reduzisse 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).

A presente pesquisa foi realizada com objetivo de comparar dois sistemas de preparo de solo para a cultura da batata (“preparo horizontal” ou raso e “preparo vertical” ou profundo) associado ao cultivo em sucessão de gramíneas (*Panicum maximum* cv. Tanzânia, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Zea mays* L. híbrido ‘Dekalb’ 191) nos atributos do solo, produtividade da batata (*Solanum tuberosum* L.) e na incidência de doenças na cultura e no produto colhido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Campo experimental

A pesquisa foi instalada na área experimental do Departamento de Produção Vegetal – ESALQ/USP, situado a 569 m de altitude em Nitossolo Eutrófico típico textura argilosa. Anteriormente à instalação, o campo havia sido cultivado com feijão e, nessa cultura, houve incidência generalizada de tombamento das plântulas ou “*damping off*” como consequência do ataque do fungo *Rhizoctonia solani*, cuja presença foi confirmada por análise fitopatológica (*anastomosis group* não foi identificado). Verificou-se, também, que a área apresentava resistência a penetração superior a 1,5 MPa, restritiva ao crescimento radicular, desde a camada superficial, cujo valor crescia em profundidade, o que caracterizava o solo como compactado.

As amostras de solo para análises químicas de macro, micronutrientes e matéria orgânica foram retiradas de quatro pontos aleatórios da área experimental, anteriormente ao plantio da batata, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e foram analisadas de acordo com a metodologia descrita em Malavolta (2006). Os valores médios, entre os quatro pontos amostrados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades químicas de Nitossolo Eutrófico típico localizado no Departamento de Produção Vegetal – ESALQ/USP

Profundidade (cm)	pH (CaCL ₂)	M.O. (g/dm ³)	P resina (mg/dm ³)	K	Ca (mmolc/dm ³)	Mg	H+Al
0-20	5,2	28	60	7,2	49	16	38
20-40	5,3	21	22	4,9	36	12	34

Profundidade (cm)	Al	SB (mmolc/dm ³)	CTC	Sat.Bas. V%	Sat. Al m%	S mg/dm ³	Cu DTPA mg/dm ³
0-20	0	72	110	66	0	21	5,8
20-40	0	53	87	61	0	57	4,0

Profundidade (cm)	Fe	Zn DTPA	Mn	B (água quente)
		mg/dm ³		
0-20	36	2,5	29,2	0,22
20-40	27	1,8	20,0	0,26

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com seis repetições e quatro tratamentos, apresentados a seguir: T₁: sucessão *Panicum maximum* cv. Tanzânia – *Solanum tuberosum* cv. Atlantic, T₂: sucessão *Brachiaria brizantha* cv. Marandu – *Solanum tuberosum* cv. Atlantic e T₃: sucessão milho (*Zea mays* L. híbrido ‘Dekalb’ 191) – *Solanum tuberosum* cv. Atlantic. Na testemunha foi utilizada a sucessão milho - batata em preparo de solo convencional, com uso de grade aradora a 20 cm de profundidade antes do plantio. As parcelas foram constituídas por duas linhas de plantio com 7 m de comprimento.

O preparo de solo e a semeadura das culturas para sucessão com a batata foram realizados em dezembro, em 2006 e 2007 e o preparo de solo e plantio da batata, no final de maio de 2007 e 2008.

Na semeadura das gramíneas foi feita uma adubação de 150 kg.ha⁻¹ de nitrogênio (N) e fósforo (P₂O₅) enquanto, para a batata, aplicou-se 160 kg.ha⁻¹ de nitrogênio (N) e potássio (K₂O), 390 kg.ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅), 5 kg.ha⁻¹ de boro (B) e 10 kg.ha⁻¹ de zinco (Zn).

3.2 Preparo de solo

O preparo de solo para plantio das gramíneas se iniciou com uma trincha, utilizada para picar os restos vegetais, seguido de uma enxada rotativa encanteiradora sob alta rotação, que revolveu e pré-incorporou os restos vegetais a 20 cm de profundidade. Essas operações foram realizadas em todos os tratamentos e testemunha. No preparo convencional, entre a operação da trincha e da enxada rotativa, foi feita uma operação com grade aradora, a 20 cm de profundidade. Nos tratamentos com o preparo proposto, uma rotativa encanteiradora de baixa rotação cortou o solo a 40 cm de profundidade e incorporou o material vegetal. Depois disso, se fez uma subsolagem no centro do canteiro, a 80 cm de profundidade e, então, se procedeu a semeadura das gramíneas.

Em abril de 2007 e 2008, a massa das gramíneas foi picada e permaneceu na superfície do solo por 45 a 60 dias. Ocorreram chuvas esporádicas durante os primeiros 15 dias (início da época seca), mas aguardou-se até que o material vegetal apresentasse aspecto seco. Após essa etapa, se realizou a mesma sequência de operações de preparo de solo realizada para as gramíneas e, no final de maio, foi feito o plantio semimecanizado da batata. Depois de 15 dias, quando os brotos emergiram, se realizou a amontoa. A Figura 1 esquematiza as dimensões do preparo de solo proposto em comparação ao preparo convencional.

Figura 1 - A: Dimensões do sistema proposto para a cultura da batata (mm). B: Dimensões do sistema convencional. A e B: Observa-se área maior proporcionada pelo sistema proposto. C e D: Área disponível para o tráfego. I e T: Área compactada pela ação do tráfego. J: Camada profunda que não sofreu compactação. U: Área que não recebeu mobilização de solo. X e M: Área que não possui restrição física para o desenvolvimento radicular (resistência a penetração de 0,1 a 0,15 MPa). Y: região subsolada. Z: Camada compactada existente somente no sistema convencional.

3.3 Massa de palha produzida pelas gramíneas

Após a operação em que as gramíneas foram roçadas, avaliou-se a produção de palha. Para isso, coletou-se a parte aérea das plantas em 1,0 m² de cada parcela. A massa fresca coletada foi submetida à pesagem e dela se retirou uma quantia de aproximadamente 100 g, a qual foi seca em estufa a 65°C por 24 horas para obtenção de sua umidade e, então, da massa de matéria seca (kg) por unidade de área (m²).

3.4 Quantidade de raízes produzida pelas gramíneas

Em abril de 2008, pouco antes da roçada das gramíneas para o plantio da batata, foram retiradas amostras deformadas de solo de cada parcela, utilizando-se trado de “caneca” com dimensões de 10 cm de diâmetro por 10 cm de altura, das camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm de profundidade. As raízes foram lavadas e secas em estufa a 60°C por 24 horas, obtendo-se, ao final, a massa seca de raízes em miligramas pelo volume de solo em cm³, conforme (FANTE JÚNIOR et al., 1999).

Os dados foram avaliados pelos testes F e Duncan a 5% de significância, em que se considerou o esquema de parcelas subdivididas, nos quais os tratamentos compuseram as parcelas principais e as faixas de profundidade as subparcelas.

3.5 Avaliação visual da cultura da batata aos 29 dias após o plantio

Aos 29 dias após o plantio, determinou-se o número de plantas por parcela (estande), número de hastes por planta, altura média de plantas e a ocorrência de doenças. O índice de ocorrência de doenças foi calculado com base na razão entre o número de plantas doentes e o total de plantas. Os dados foram analisados pelo teste F e Duncan a 5% de significância.

3.6 Resistência do solo à penetração

O crescimento radicular das plantas e a sua profundidade estão intimamente relacionados com a resistência à penetração medida por penetrômetro (BISHOP; GRIMES, 1978; LETEY, 1985), a qual aumenta com a compactação do solo e limita o crescimento radicular acima de certos valores. Grimes, Miller e Wiley (1975) encontraram desenvolvimento radicular de milho e

algodão, em diferentes tipos de solo, intimamente relacionados às medidas feitas com penetrômetro no campo.

Para avaliação desse atributo, foi utilizada a técnica descrita em Stolf, Fernandes e Furlani Neto (1983) por meio de penetrômetro modelo IAA/ Planalsucar- Stolf, produzido pela KAMAQ (Araras-SP). Esse penetrômetro se baseia no impacto de uma massa constante, após percorrer um curso fixo, o que provoca a penetração da haste no solo. Com o auxílio do software “Impact Penetrometer Stolf Model”, versão 2.0, foram obtidos os valores de resistência à penetração em MPa a cada 20 cm de profundidade.

Essa técnica foi escolhida pelo seu baixo custo e simplicidade de uso, embora possam ocorrer dificuldades na interpretação dos resultados obtidos, devido à dependência dos mesmos em relação ao teor de água do solo (CASSEL; BOWEN; NELSON, 1978). Para reduzir os erros devido à diferença na umidade do solo, a avaliação foi feita em um único dia, aos 60 dias após o plantio, na fase de tuberização da cultura. As análises foram realizadas em cada parcela, em três pontos sobre o camalhão, distantes 45 cm um do outro, até 1,0 m de profundidade.

Os pontos avaliados com penetrômetro, localizados nas posições 45 e 135 cm, corresponderam exatamente às linhas de plantio da cultura e o ponto central, localizado a 90 cm, correspondeu à linha subsolada. Dessa forma, para análise dos dados, utilizou-se a média entre os valores das posições 45 e 135 cm e denominou-se essa variável de resistência a penetração na linha de plantio. A resistência à penetração no ponto central do canteiro (90 cm) foi analisada isoladamente. As análises estatísticas foram realizadas pelo teste F e Duncan a 5% de significância, no esquema de parcelas subdivididas, no qual foram considerados os tratamentos como parcela principal e a profundidade (de 20 em 20 cm) como subparcela.

3.7 Macroporosidade e densidade do solo

A porosidade drenável, porosidade efetiva, porosidade livre de água ou macroporosidade representa o volume de poros do solo no qual a água se move livremente. Seu valor equivale ao conteúdo de ar presente no solo na capacidade de campo e é determinada pela diferença entre a porosidade total e o conteúdo de água correspondente à capacidade de campo. Mediante essa definição, percebe-se que a determinação da porosidade drenável envolve o problema de que a capacidade de campo não é um valor precisamente definido no solo, sendo, em condições de campo, a macroporosidade obtida em função do rebaixamento do lençol freático e da lâmina de

água correspondente a esse rebaixamento (RIBEIRO et al., 2007). Logo, a escolha de um limite inferior para o tamanho de macroporos é um tanto arbitrária e, nesse sentido, Queiroz, Cruciani e Libardi (1995) citaram diversos autores que utilizaram como valor limite de separação entre a macro e microporosidade, uma tensão de 60 cm de coluna d'água ou 6 kPa, correspondente aos poros de diâmetro da ordem de 0,05 cm.

Amostras indeformadas de solo para determinação de macroporosidade e densidade foram coletadas de cada parcela, nas camadas de solo localizadas entre 5 e 10 cm e 25 e 30 cm de profundidade aos 80 dias após o plantio, no final da fase de enchimento dos tubérculos da batata. Utilizaram-se cilindros de aço inoxidável de três centímetros de diâmetro por cinco centímetros de altura. As amostras foram colocadas dentro de bandejas, às quais se adicionou água de forma fracionada, de modo que, ao final de três dias, a lâmina de água dentro da bandeja chegasse quase à altura da superfície da amostra, com o cuidado de não ultrapassá-la. Depois de saturadas, as amostras apresentavam um filme de água sobre sua superfície e foi determinada a massa das amostras saturadas e, em seguida, colocadas sobre mesa à tensão de 60 cm de água, onde permaneceram até o estabelecimento do equilíbrio hidrostático. As amostras foram, então, novamente pesadas, para se obter a massa das amostras em equilíbrio com a tensão de 60 cm de água e colocadas para secar em estufa a 105°C por 48 horas para obtenção da massa seca.

Para o cálculo da macroporosidade, se considerou a densidade da água igual a 1 g.cm⁻³ e, então, dividiu-se a diferença entre a massa da amostra saturada e a massa da amostra em equilíbrio com a tensão de 60 cm de água pelo volume total da amostra. Obteve-se, assim, a razão adimensional: volume de macroporos por volume total de solo.

A densidade foi calculada dividindo-se a massa seca pelo volume total da amostra, obtendo-se o valor em g.cm⁻³.

Os dados foram analisados estatisticamente por meio do teste F e Duncan a 5% de significância. Utilizou-se o esquema parcelas subdivididas, no qual se consideraram os tratamentos como parcelas e as profundidades avaliadas (5 a 10 e 25 a 30 cm) como subparcelas.

3.8 Estabilidade de agregados

A estrutura do solo se refere ao tamanho, forma e organização das partículas sólidas e espaços vazios, continuidade dos poros, sua capacidade de reter e conduzir fluidos, substâncias orgânicas e inorgânicas e habilidade de suportar o crescimento e o desenvolvimento vigoroso das

raízes (LAL, 1991). Estrutura adequada de solo e alta estabilidade de agregados são importantes para promover a fertilidade do solo, aumentar a produtividade das culturas, proporcionar maior porosidade e reduzir a erodibilidade do solo (BRONICK; LAL, 2005).

O conhecimento da estabilidade de agregados é importante na definição dos indicadores da qualidade do solo (SÁ et al., 2002), sendo um indicador dos processos envolvidos na degradação do solo (TIPPKÖTTER, 1994), pois influencia a infiltração, retenção de água, aeração de raízes (SANTOS, 1993; SILVA, 1994), selamento e encrostamento superficial e erosão hídrica e eólica (REICHERT; VEIGA; CABEDA, 1993; SUN; LANEY; BULLOCK, 1995). A estabilidade de agregados é também o parâmetro que melhor se correlaciona com a erodibilidade (ANGULO, 1983; EGASHIRA; KAETSU; TAKUMA, 1983) e qualidade do solo (MIELNICZUK et al., 2003).

Em cada parcela foram colhidas amostras deformadas no final da fase de enchimento de tubérculos da batata (80 dias após plantio), nas profundidades de 0 a 10 e 20 a 30 cm. As análises foram feitas por via úmida (KEMPER; CHEPIL, 1965).

As amostras coletadas em campo foram secas ao ar por cinco dias e, em seguida, passadas por um conjunto de duas peneiras sobrepostas, para obterem-se amostras homogêneas. Coletou-se a fração que passou pela peneira de 9,00 mm e que ficou retida na peneira de 4,00 mm. Dessa fração homogênea, coletou-se uma quantia de aproximadamente 20 g para obtenção do peso seco e saturou-se por capilaridade, pelo princípio de umedecimento lento (KEMPER; CHEPIL, 1965), uma quantia de aproximadamente 50 g de terra para cada amostra, a qual, após a saturação, foi colocada sobre um conjunto de peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm de diâmetro (YODER, 1936) emergido em água e agitado por um aparelho de oscilação vertical a 42 rpm. Transcorridos 15 minutos de agitação, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para um recipiente com auxílio de jatos d'água e secas em estufa a 105°C por um período de 24 horas para posterior pesagem. A partir da massa retida em cada peneira, calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados.

Para o cálculo do diâmetro médio ponderado (eq. 2) e geométrico (eq. 3), considerou-se que a massa retida na peneira de 2,00 mm possuía um diâmetro médio de 5,5 mm, ou seja, a média entre a peneira superior (9,00 mm) e a inferior (2,00 mm). De forma análoga, considerou-se que a massa de agregados retida na peneira de 1,00 mm apresentava diâmetro médio de 1,5 mm (média entre 2,00 e 1,00 mm) e assim por diante.

$$DMP_{(mm)} = \frac{m_1 \cdot \left(\frac{9,00+2,00}{2}\right) + m_2 \cdot \left(\frac{2,00+1,00}{2}\right) + m_3 \cdot \left(\frac{1,00+0,50}{2}\right) + m_4 \cdot \left(\frac{0,50+0,25}{2}\right) + m_5 \cdot \left(\frac{0,25+0,106}{2}\right)}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5} \quad (2)$$

$$DMG_{(mm)} = \left[\left(\frac{9,00+2,00}{2}\right)^{m_1} \cdot \left(\frac{2,00+1,00}{2}\right)^{m_2} \cdot \left(\frac{1,00+0,50}{2}\right)^{m_3} \cdot \left(\frac{0,50+0,25}{2}\right)^{m_4} \cdot \left(\frac{0,25+0,106}{2}\right)^{m_5} \right]^{\frac{1}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5}} \quad (3)$$

Para as Equações 2 e 3, m_1 , m_2 , m_3 , m_4 e m_5 são as massas de agregados de solo presentes, após agitação dentro da água, nas peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm, respectivamente.

Os dados foram analisados estatisticamente pelo teste F e Duncan ao nível de significância de 10%. Para as variáveis DMG e DMP utilizou-se o esquema de parcelas subdivididas, sendo considerados os tratamentos como parcela principal e as profundidades amostradas (0-10 e 20-30 cm) como subparcelas.

3.9 Produtividade e danos nos tubérculos

Os tubérculos, depois de colhidos, foram classificados de acordo com parâmetros comerciais, sendo divididos nas classes: especial (maiores que 10 cm de diâmetro), primeira (diâmetro entre 4 e 10 cm) e diversas (tubérculos com diâmetro inferior a 4 cm ou com danos e/ou má formação). Após a classificação, foi determinada a massa fresca de cada classe de diâmetro dentro de cada parcela. Para avaliação de danos nos tubérculos, foram amostrados 50 tubérculos por parcela, em que se avaliou o número de tubérculos com danos mecânicos, danos por pragas e danos por doenças.

As doenças avaliadas foram sarna comum (*Streptomyces scabies*) (Figura 2), sarna prateada (*Helminthosporium solani*) (Figura 3) e rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*) (Figura 4). Após as avaliações, amostras de tubérculos com sintoma foram submetidas a análise na Clínica Fitopatológica – ESALQ/USP, a qual confirmou a presença dos patógenos. A avaliação do ataque de pragas constou apenas dos sintomas de ataque da larva-alfinete (*Diabrotica speciosa*, Figura 5) e os sintomas de desordem fisiológica avaliados foram os de rachadura (Figura 6) e lenticelose (Figura 7).

Figura 2 - Tubérculo de batata com sintoma de sarna comum (*Streptomyces scabies*)

Figura 3 - Tubérculo de batata com sintoma de sarna prateada (*Helminthosporium solani*)

Figura 4 - Tubérculo de batata com sintoma inicial de rizoctoniose (*Rhizoctonia solani*)

Figura 5 - Sintoma do ataque de larva-alfinete (*Diabrotica speciosa*) em tubérculo de batata

Figura 6 - Rachadura fisiológica em tubérculo de batata

Figura 7 - Lenticelose (à esquerda) em tubérculo de batata

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa de parte aérea produzida pelas gramíneas

A massa de matéria seca da parte aérea produzida pelo capim Tanzânia (1358 g m^{-2}) em “preparo profundo” foi superior à do milho em sistema convencional (899 g m^{-2}) (Figura 8).

Figura 8 - Massa seca de palha produzida por três gramíneas em preparo profundo e por milho em preparo convencional de solo. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Duncan a 5% de significância. Coeficiente de variação: 9,9%

Verifica-se que, embora a diferença de produtividade entre o milho em preparo proposto e convencional não tenha sido significativa, houve tendência numérica de maior produtividade para

aquele primeiro, cujo valor foi 66% superior. O efeito benéfico do preparo de solo proposto é uma explicação para essa possível diferença.

4.2 Quantidade de raízes

A diferença da massa de matéria seca de raízes por volume de solo (mg cm^{-3}) foi significativa entre os tratamentos (parcelas) e entre as faixas de profundidade (subparcelas), como pode ser visto na Figura 9. Verifica-se que o capim Marandu apresentou a maior massa de raízes em comparação ao milho em preparo convencional e que, independente do tratamento, a maior quantidade de raízes foi determinada nos primeiros 20 cm de profundidade.

Figura 9 - Massa de matéria seca de raízes por volume de solo nas camadas de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm, para três gramíneas em “preparo profundo” e milho em preparo convencional de solo. A diferença estatística (Duncan a 5%) entre os tratamentos na mesma profundidade é indicada por letras minúsculas diferentes e a diferença entre as profundidades, dentro de cada tratamento, é indicada por letras maiúsculas diferentes. O coeficiente de variação dos dados transformados para $1/(x+0,5)^{1/2}$ foi de 8,2%

A avaliação da quantidade de raízes foi proposta devido ao grande número de relatos sobre a sua influência positiva na estruturação do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; PALADINI; MIELNICZUK, 1991; PINHEIRO; PEREIRA; ANJOS, 2004; SALTON et al., 2008; SILVA; MIELNICZUK, 1997a,b). Entretanto, após o período de dois anos de condução do sistema de sucessão de culturas, a quantidade superior de raízes produzida pelo capim braquiária

não proporcionou diferença significativa no diâmetro de agregados em comparação aos demais tratamentos, como pode ser visto com mais detalhes no item 4.6.

As espécies *Brachiaria brizantha* (GOULART, 2008) e *Panicum maximum* (MARTUSCELLO et al., 2007) são originárias da África tropical e se reproduzem predominantemente por apomixia. Esse fato dificulta o aumento da variabilidade genética (GOULART, 2008) e, portanto, essas espécies provavelmente mantiveram muitas características adaptativas às condições de solo e clima tropicais de seu centro de origem. No entanto, o capim tanzânia é indicado para solos mais férteis que o capim marandu, uma evidência da rusticidade desse último, possivelmente relacionada à maior capacidade de produção de raízes, tendência numérica que pode ser observada na Figura 9.

Embora a quantidade de raízes de milho entre os dois sistemas não tenha sido diferente, verifica-se uma considerável tendência de maiores valores no sistema de preparo profundo. Dentre os atributos do solo avaliados, a menor resistência à penetração na região central do canteiro (item 4.5) pode ter favorecido a produção de raízes pelo milho.

4.3 Avaliação visual da cultura da batata aos 29 dias após o plantio

O número de plantas por parcela, altura e número de hastes por planta (Tabela 2) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 2 - Número de plantas por parcela (estande), altura média de plantas e número de hastes por planta de batata cultivada em sucessão a três gramíneas em preparo profundo e a milho em preparo convencional de solo

Tratamento	Número de plantas por parcela	Altura média de plantas (cm)	Número de hastes por planta
Braquiária	40,00	33,68	3,84
Milho	40,00	34,67	3,88
Tanzânia	38,67	32,06	3,62
Convencional	39,83	30,75	3,67

A ocorrência de sintomas de doenças de origem não virótica (nº de plantas atacadas / nº total de plantas) foi inferior a 1% e não foi diferente entre os tratamentos.

Embora a altura e o número de hastes por planta não tenha apresentado diferença estatística, observou-se visualmente diferença entre os tratamentos e, portanto, avaliou-se a

ocorrência de plantas com número de hastes igual ou superior a 5 (Figura 10), calculada pela razão entre o número de plantas com essa característica e o número total de plantas. Essa variável apresentou diferença estatística, com maior ocorrência de plantas com número de hastes igual ou superior a 5 nos tratamentos em que foi utilizado o milho como cultura em rotação, independentemente do sistema de preparo de solo.

Figura 10 - Ocorrência de plantas com número de hastes igual ou superior a cinco em batata Atlantic cultivada após três gramíneas em preparo profundo e ao milho em preparo convencional de solo. O coeficiente de variação dos dados transformados para $(x + 0,5)^{1/2}$ foi de 5,1%

Conforme se verifica no item 4.6, sobre a avaliação da estabilidade de agregados, as áreas cultivadas com milho apresentavam menor grau de umidade em profundidade quando o preparo de solo foi realizado, o que proporcionou menor número e tamanho de torrões. Essa condição, por aumentar a área em que os tubérculos-sementes ficam em contato com o solo, pode ter influenciado a ocorrência de plantas com cinco ou mais hastes.

4.4 Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração na linha de plantio (Figura 11) não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (parcela principal). No entanto, a resistência à penetração entre as faixas de profundidade (subparcelas) foi significativa.

Figura 11 - Resistência do solo a penetração na linha de plantio. Letras diferentes correspondem às médias entre faixas de profundidade, que apresentaram diferença estatística pelo teste de Duncan a 5% de significância. Coeficiente de variação: 11,8%

A resistência do solo à penetração no centro do canteiro (Figura 12), onde foi feita a subsolagem nos tratamentos com preparo de solo profundo, diferiu estatisticamente entre os tratamentos e faixas de profundidade. Os valores de resistência à penetração aumentaram com a profundidade e foram superiores no preparo de solo convencional. Para essa variável, a interação entre tratamento (parcela) e profundidade (subparcela) foi significativa e o seu detalhamento evidenciou que o sistema de preparo de solo convencional apresentou aumento significativo da resistência a penetração a partir da camada de 20 a 40 cm de profundidade, enquanto nos tratamentos com preparo profundo, maior resistência à penetração só foi detectada a partir da

faixa de 40 a 60 cm para o capim braquiária e 60 a 80 cm para o capim Tanzânia e milho. O tratamento com capim braquiária apresentou maior resistência à penetração em camadas mais rasas que as outras gramíneas, possivelmente devido à sua menor produção de palha. Essa tendência numérica pode ser verificada na Figura 5. Embora a profundidade de alcance da enxada rotativa utilizada para incorporação tenha sido 40 cm, a subsolagem, no centro do canteiro, promoveu sua incorporação até aproximadamente 60 cm, como pode ser visto na Figura 13.

Figura 12 - Resistência do solo à penetração na região subsolada central do canteiro. Letras minúsculas diferentes correspondem a médias estatisticamente diferentes entre tratamentos na mesma faixa de profundidade. Letras maiúsculas diferentes correspondem a diferença estatística entre faixas de profundidade dentro de cada tratamento. Utilizou-se o teste de Duncan a 5% de significância e obteve-se coeficiente de variação de 13,3%

Figura 13 - Perfil de solo em cultura de batata implantada após sistema de preparo proposto

A resistência à penetração é limitante ao crescimento radicular das culturas acima de certos valores, os quais apresentam pequena variação na literatura, como 1,5 MPa (GRANT; LAFOND, 1993; STALHAM et al., 2007) e 2,0 MPa (SILVA; KAY; PERFECT, 1994; TAYLOR; ROBERSON; PARKER, 1966; TORMENA et al., 1998).

Considerando-se o valor de 1,5 MPa como referência, verifica-se que, na linha de plantio, até 40 cm de profundidade, não houve limitação para o crescimento radicular da cultura em nenhum dos tratamentos, ao passo que, na camada seguinte, todos os tratamentos apresentaram resistência a penetração superior a 1,5 MPa. Na linha central do canteiro, o preparo convencional proporcionou limitação ao crescimento radicular a partir dos 40 cm de profundidade, enquanto essa limitação só ocorreu nos tratamentos com o preparo profundo abaixo dos 60 cm de profundidade.

Observa-se que nas linhas de plantio, a resistência à penetração na camada de solo de 20 a 40 cm não foi estatisticamente diferente entre os tratamentos, embora o preparo de solo convencional só tenha sido feito até 20 cm de profundidade. No entanto, a resistência no centro do canteiro foi inferior para os tratamentos com preparo profundo. Isso sugere que a pressão exercida pela roda do trator na região lateral dos canteiros durante as operações mecanizadas possa ter potencializado o efeito de readensamento do solo preparado na camada de 20 a 40 cm (BUSSCHER; BAUER; FREDERICK, 2002) e indica que, para se obter maior eficiência do preparo profundo, esse deve ser feito o mais distante possível da linha de tráfego, a qual deve ser fixa na área, conforme o método denominado “*zero traffic*”, aqui traduzido como “tráfego dirigido” (DICKSON; CAMPBELL; RITCHIE, 1992; YOUNG et al., 1993).

4.5 Macroporosidade e densidade do solo

A macroporosidade (Figura 14) e a densidade do solo (Figura 15) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e profundidades amostradas.

Figura 14 - Macroporosidade do solo nas camadas de 5-10 e 25-30 cm, cultivado com três gramíneas em preparo profundo e com milho em preparo convencional de solo. Coeficiente de variação dos dados transformados por $(x+0,5)^{1/2}$: 2,4%

Figura 15 - Densidade aparente do solo nas camadas de 5-10 e 25-30 cm, cultivado com três gramíneas em preparo profundo e com milho em preparo convencional de solo. Coeficiente de variação: 6,5%

Alguns estudos associam uma porosidade de aeração mínima de 10% como suficiente ao crescimento das plantas (DEXTER, 1988; GLINSKI; LIPIEC, 1990; GRABLE; SIEMER, 1968). Ao se considerar esse valor como referência, verifica-se que nenhum tratamento apresentou restrição quanto à macroporosidade do solo nas profundidades avaliadas, visto que os valores obtidos na camada de 0 a 5 cm variaram de 13,6% para o milho em preparo convencional a 16,5% para o milho em preparo profundo de solo e, na camada de 25 a 30 cm, de 12,9% para o capim tanzânia a 14,9% para o milho, ambos no preparo de solo profundo (Figura 14).

Os valores de densidade de solo na camada de 5 a 10 cm variaram de $1,16 \text{ g.dm}^{-3}$ na sucessão com capim tanzânia a $1,25 \text{ g.dm}^{-3}$ no milho em preparo convencional de solo e, na camada de 25 a 30 cm, de $1,19$ a $1,27 \text{ g.dm}^{-3}$ para o milho no preparo de solo profundo e convencional, respectivamente.

Também em Nitossolo, um trabalho comparou a macroporosidade e a densidade de solo na camada de 0 a 5 cm de profundidade em mata nativa, preparo de solo com grade aradora e grade niveladora (preparo convencional) e plantio direto de quatro, cinco e 12 anos. O índice mais alto de macroporosidade foi de 27%, determinado no plantio direto de 12 anos, enquanto o valor mínimo foi de 17%, obtido no plantio convencional e no plantio direto de quatro anos. A densidade do solo variou de $1,05 \text{ g.dm}^{-3}$ na mata nativa a $1,22 \text{ g.dm}^{-3}$ no preparo convencional, enquanto, no plantio direto, se obtiveram valores intermediários, com destaque para o de 12 anos, cuja densidade foi de $1,06 \text{ g.dm}^{-3}$, valor muito próximo daquele determinado na mata nativa (ASSIS; LANÇAS, 2005). Observa-se, no presente trabalho, que os valores de macroporosidade e densidade de solo variaram menos em comparação àquele trabalho, os quais foram mais próximos dos mínimos obtidos para macroporosidade e dos máximos obtidos para densidade de solo. É uma possível consequência de seu estado avançado de degradação, que ocorreu antes do início do presente trabalho.

Os pontos amostrados nessa avaliação localizavam-se abaixo da linha de plantio da cultura e, analogamente ao que foi notado na avaliação de resistência à penetração, é possível que a ausência de diferença se deva ao readensamento provocado pela proximidade da linha de tráfego.

Nota-se que a densidade na faixa de 5 a 10 cm tendeu a ser superior para os tratamentos sistema convencional e capim braquiária no preparo profundo em comparação aos demais tratamentos. Tendência numérica semelhante ocorreu com a variável massa de matéria seca da parte aérea produzida pelas gramíneas (item 4.1), sugerindo que essa variável tenha sido o fator de maior influência sobre a densidade do solo naquela profundidade. Nessa mesma área experimental, em um trabalho realizado no primeiro ano da pesquisa, encontrou-se relação positiva entre a massa de palha produzida pela gramínea e a macroporosidade do solo nas camadas de 15 a 20 e 35 a 40 cm (ROCHA; RAGASSI; FAVARIN, 2008). Observa-se, ainda, que o sistema de preparo de solo convencional e o sistema proposto com capim braquiária apresentaram resistência à penetração no centro do canteiro superior a $1,5 \text{ MPa}$ em camadas

superiores aos demais tratamentos, corroborando com a possível influência da massa de resíduos sobre os atributos do solo.

4.6 Estabilidade de agregados

O parâmetro diâmetro médio ponderado de agregados (Figura 16) não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (parcelas) ou profundidades (subparcelas). Já, o diâmetro médio geométrico de agregados (Figura 17) apresentou diferença estatística entre as profundidades estudadas, ou seja, 0 a 10 e 20 a 30 cm. Não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Figura 16 - Diâmetro médio ponderado de agregados do solo nas camadas de 0 a 10 e 20 a 30 cm, cultivado com três gramíneas em preparo profundo e com milho em preparo convencional de solo. Coeficiente de variação: 2,6%

Figura 17 - Diâmetro médio geométrico de agregados do solo nas camadas de 0 a 10 e 20 a 30 cm, cultivado com três gramíneas em preparo profundo e com milho em preparo convencional de solo. Letras diferentes indicam diferença estatística (teste F e Duncan a 10 % de significância) entre as profundidades estudadas. Coeficiente de variação: 7,6%

Observou-se que os agregados com diâmetro superior a 2 mm corresponderam a mais de 90% da massa de agregados em todos os tratamentos nas camadas de 0 a 10 e 20 a 30 cm, dado que não apresentou diferença estatística entre tratamentos e profundidade (Figura 18).

Figura 18 - Porcentagem, em massa, de agregados do solo com diâmetro superior a 2 mm nas camadas de 0 a 10 e 20 a 30 cm. Coeficiente de variação: 3%

Em um trabalho, também em Nitossolo textura argilosa, se obteve resultado semelhante na camada de 0 a 10 cm somente sob vegetação nativa, enquanto solos cultivados convencionalmente e em sistema de plantio direto apresentaram por volta de 65 e 85% de agregados com diâmetro superior a 2 mm, respectivamente. Na camada de 20 a 30 cm, plantio convencional, plantio direto e mata nativa apresentaram 80, 65 e 80% de agregados naquela faixa de diâmetro, respectivamente (LACERDA et al., 2005). Para efeito de comparação, cita-se um trabalho realizado em Latossolo Vermelho com 380 g kg^{-1} de argila, em que na camada de 0 a 5 cm se obteve por volta de 75, 50 e 30% de agregados com diâmetro superior a 2 mm para os

sistemas gramínea forrageira, plantio direto e plantio convencional, respectivamente (PINHEIRO; PEREIRA; ANJOS, 2004). Observa-se, nesses casos, que o Nitossolo apresentou maior proporção de agregados superiores a 2 mm em comparação ao Latossolo.

É importante ressaltar que a alta proporção de agregados na faixa de maior diâmetro também pode ser reflexo do estado inicial de compactação do solo trabalhado. Esses agregados podem ter sido formados por forças de compressão e não por ação biológica das raízes e microrganismos (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; LACERDA et al., 2005).

Embora não se tenha detectado diferença estatística entre os tratamentos, nota-se, para o diâmetro médio geométrico de agregados, uma leve influência positiva do sistema de preparo proposto com milho. Isso pode ter ocorrido, pois, para que houvesse tempo para secagem da palha, à semelhança do processo de fenação, os capins foram roçados e picados na primeira quinzena de abril, quando ainda ocorriam as últimas chuvas do período úmido. O milho foi deixado secar “de pé” e só foi picado no final daquele mês, quando as chuvas já haviam cessado.

Ao se realizar o preparo de solo com enxada rotativa a 40 cm de profundidade, notou-se que as parcelas cultivadas com os capins apresentavam nitidamente maior número de torrões em comparação às cultivadas com milho. Provavelmente o milho, por ter permanecido transpirando após as chuvas, absorveu água e secou o solo até a profundidade trabalhada, enquanto a perda de água nas áreas cobertas com resíduo dos capins e sem vegetação foi menor, principalmente em profundidade. Durante a operação de preparo, pode-se notar que a enxada rotativa expunha na superfície torrões muito úmidos, com característica plástica e massa superior a 1 kg nas parcelas cultivadas com os capins, o que não ocorria nas parcelas cultivadas com milho, nas quais a máquina esboroava muito bem os torrões, aparentemente secos.

Trabalhos geralmente relacionam o revolvimento do solo à redução da agregação (BRONICK; LAL, 2005) e mostram que aumentos significativos do diâmetro de agregados estáveis em água, decorrentes da adoção de estratégias de manejo do solo sem revolvimento, como o plantio direto, ocorrem somente após vários anos de sua adoção (PINHEIRO; PEREIRA; ANJOS, 2004; SALTON et al., 2008). Entretanto, a tendência de maiores valores de diâmetro de agregados no sistema de “preparo profundo” com milho, embora se tenha revolvido o solo, pode estar relacionada ao rompimento da compactação inicial e incorporação de material vegetal ao solo, o qual atua como núcleo de formação além de fornecer energia para a atividade biológica responsável pela estabilização dos agregados (OADES, 1984; SILVA; MENDONÇA, 2007).

O fornecimento de matéria orgânica ao solo é especialmente importante para a agregação em Nitossolos, os quais apresentam estabilidade de agregados altamente associada ao seu teor em matéria orgânica, enquanto para Latossolos e Argissolos, complexos formados entre húmus e alumínio, assim como hidróxidos de Al^{3+} não cristalinos são os principais fatores agregantes do solo (BRONICK; LAL, 2005).

Os efeitos combinados da composição bioquímica e da quantidade de resíduos vegetais retornada ao solo afetam a estabilidade dos agregados. O diâmetro médio de agregados estáveis em água correlaciona-se com a composição bioquímica dos resíduos vegetais, como teor de fenóis, lignina, proteínas, mono e polissacarídeos, fenóis e ácidos húmicos extraíveis em meio alcalino e, também, ácidos fenólicos como ácido vanilino-vanílico no resíduo (MARTENS, 2000). Análises realizadas naquele trabalho mostraram que resíduos de milho apresentam alto teor de fenóis, de 37,7 g de ácidos fenólicos totais por quilograma de massa seca de resíduo, constituído por folha e colmo. Esse valor foi superior ao de outras culturas avaliadas como aveia, alfafa, soja e uma gramínea forrageira de clima temperado (14,3; 3,1; 2,4 e 11,1 g.kg⁻¹, respectivamente). Naquele trabalho, a quantidade de resíduos e seu teor em ácidos fenólicos aparentemente controlaram a taxa de decomposição; após 84 dias de incubação, foi possível estabelecer uma curva de resposta estatisticamente significativa entre o teor de ácidos fenólicos e o diâmetro de agregados estáveis em água, o que explicou a maior agregação encontrada para o resíduo de milho (MARTENS, 2000). É possível que esses fatores tenham influenciado a tendência de maior agregação aqui relatada quando se utilizou o sistema de “preparo profundo” com a cultura do milho.

4.7 Produtividade e danos nos tubérculos

A produtividade total de tubérculos (Figura 19) diferiu estatisticamente entre o sistema convencional de preparo de solo associado ao cultivo de milho (28,335 Mg.ha⁻¹) e o sistema de “preparo profundo” com cultivo de milho (32,944 Mg.ha⁻¹). No entanto, pelo teste T, essa diferença só foi significativa ao nível de significância de 11%.

Figura 19 - Produtividade de batata Atlantic cultivada em sucessão a três gramíneas em preparo profundo e ao milho em preparo convencional de solo. Letras diferentes significam diferença estatística pelo teste de Duncan a 5% de significância. Coeficiente de variação: 10,3%

A porcentagem de tubérculos nas classes de diâmetro comercial (4 a 10 cm) e superior a 10 cm não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. Os valores médios para classe de diâmetro comercial variaram de 91,45% no preparo proposto com capim braquiária a 83,40% no preparo convencional com milho e, para a classe de diâmetro superior a 10 cm, de 11,42% no preparo convencional com milho a 5,31% no preparo proposto com o capim tanzânia. Os coeficientes de variação dos dados transformados para $\arcsen\ de\ (x/100)^{1/2}$ foram de 9,56% para a classe de diâmetro comercial e de 49,40 % para os dados da classe de diâmetro superior a 10 cm

transformados para $x^{1/2}$. A porcentagem de tubérculos na classe denominada “diversas”, ou seja, com diâmetro inferior a 4 cm (Figura 20), diferiu estatisticamente pelo teste de Duncan, mas não pelo teste F, ambos a 5% de significância.

Figura 20 - Porcentagem, em massa, de tubérculos da classe denominada “diversas” (diâmetro inferior a 4 cm) produzidos em cultura de batata Atlantic em sucessão a três gramíneas em preparo profundo e ao milho em preparo convencional de solo. Letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Duncan a 5%. Coeficiente de variação dos dados transformados para $x^{1/2}$: 28,2%

Verifica-se que o preparo de solo profundo proporcionou maior produtividade e menor quantidade de tubérculos com baixo valor comercial. A resistência a penetração no centro do

canteiro foi, dentre as avaliações de solo realizadas, a variável mais influenciada pelo tipo de preparo de solo e não foi influenciada pela espécie de gramínea utilizada. Certamente, a maior produtividade e qualidade de tubérculos estão relacionadas à ausência de compactação na região central do canteiro, onde não houve efeito do trânsito de máquinas após o preparo de solo (CARTER; MEEK; RECHEL, 1988; CRAWFORD, 1992; DICKSON; CAMPBELL; RITCHIE, 1992; DOUGLAS; CAMPBELL; YOUNG, et al., 1993). Ressalta-se que, embora a espécie de gramínea utilizada não tenha influenciado significativamente a produtividade em tubérculos e os atributos do solo, essas plantas possuíam características diferentes entre si, como a capacidade de produção de raízes e de parte aérea. Martens (2000) também constatou diferença na composição bromatológica, especialmente em compostos fenólicos. Não se descarta, por hipótese, que, após período superior ao da realização desse trabalho (dois anos), a espécie de gramínea utilizada influencie significativamente os atributos de solo e a produtividade da cultura da batata.

A porcentagem de tubérculos com dano mecânico, incidência de pragas, doenças e desordens fisiológicas não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. De modo geral, essas variáveis apresentaram altos coeficientes de variação, os quais foram superiores a 30%, com exceção à sarna prateada (16,7%) e incidência média inferior a 10%, com exceção aos danos causados por sarna prateada (64%), larva-alfinete (37,33%) e lenticelose (11,5%), o que pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Dano mecânico, incidência de pragas, doenças e desordens fisiológicas em batata cultivada em sucessão a três gramíneas em preparo profundo e a milho em preparo convencional de solo

Tratamento	Danos mecânicos	Larva-alfinete (%) de tubérculos afetados	Sarna comum	Sarna prateada
Braquiária	11,67	31,00	6,33	69,00
Milho	9,33	49,67	4,00	65,67
Tanzânia	9,67	33,33	5,67	61,00
Convencional	10,33	35,33	3,33	60,33
c.v. (%)	44,00	30,90	50,50	16,70

Tratamento	Rhizoctonia	Rachadura fisiológica (%) de tubérculos afetados	Lenticelose
Braquiária	4,00	5,00	10,00
Milho	1,60	8,00	6,00
Tanzânia	1,29	5,00	15,67
Convencional	4,33	7,33	14,33
c.v. (%)	61,60	34,50	57,40

De maneira geral, se observou que a ocorrência de doenças de solo foi baixa, mesmo ao final do segundo ciclo de rotação. É possível que a baixa ocorrência tenha mascarado o efeito do sistema de preparo de solo sobre esse parâmetro, o que mostra a necessidade de um trabalho de longo prazo, em condições de alta incidência de doenças, para que esse efeito seja melhor avaliado.

5 CONCLUSÕES

1. O preparo de solo convencional com grade aradora associado ao uso de milho como cultura sucessora ocasionou limitações físicas no solo, as quais não estiveram associadas à maior ocorrência de doenças de solo na cultura da batata durante o período avaliado.
2. O sistema de preparo profundo substituiu com vantagens o sistema convencional, as quais não foram diferentes em relação à gramínea utilizada em sucessão quanto à produtividade e ocorrência de doenças na cultura da batata.
3. Não se pode afirmar que o preparo profundo de solo associado à sucessão com gramíneas descarta a necessidade de migração da bataticultura.
4. A pesquisa sobre esse sistema de produção depende de estudos de longo prazo, para se identificarem alterações nos atributos físicos e em relação à incidência de doenças de solo.

REFERÊNCIAS

ABBA. <http://www.abbabatatabrasileira.com.br>. acesso em: 15 ago. 2007.

ABBA. <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.

ANGULO, J.R. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. 1983. 154 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Rural do Paraná, Curitiba, 1983.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema Plantio Direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.515-522, 2005.

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.

BARLEY, K.P. Effects of mechanical stress on growth of roots. **Journal of experimental botany**, Oxford, v.13, n.37, p. 95-96, 1962.

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 2, p. 7-18.

BENGOUGH, A.G.; CROSER, C.; PRITCHARD, J. A biophysical analysis of root growth under mechanical stress. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 189, n.1, p. 155-164, feb. 1997.

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.

BOLLER, W.; PREDIGER, L.J. Cultivo da batata (*Solanum tuberosum* L.) em função de diferentes sistemas de preparo e condições de cobertura de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, p. 174-179, mai. 2001.

BRADFIELD, R. Soil conservation from the view point of soil physics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 29, p. 85-92, 1937.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 13 th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 960 p.

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. Recomposition 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.; MIELNICZUCK, 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.

CARVALHO JÚNIOR, I. **Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em latossolo de textura média, sob diferentes usos**. 1995. 83 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

CASSEL, D.K., BOWEN, H.D., NELSON, L. An evaluation of mechanical impedance for three tillage treatments on Norfolk Loanmy Sand. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.42, p.116-120, 1978.

CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 20 p. 325-358.

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.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p.199-238, 1988.

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.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. chap.1 p.3-21.

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.

EGASHIRA, K.; KAETSU, Y.; TAKUMA, K. Aggregate stability as an index of erodibility of Andosols. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 29, n. 4, p. 473-481, 1983.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A. de C.; BACCHI, O.O.S. Distribuição do sistema radicular de uma cultura de aveia forrageira. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n.4, p. 1091-1100, out/dez. 1999. Suplemento.

FAO. <http://www.fao.org>, acesso em: 15 ago. 2007.

FIOREZE, C. **Transição agroecológica em sistemas de produção de batata**. 2005. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

GLINSKI, J.; LIPIEC, J. **Soil physical conditions and plant roots**. Florida: CRC Press, 1990. 250p.

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.

GOULART, J.C. **Citogenética e anatomia foliar de acessos e progênies de *Brachiaria***. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.32, n.2, p.180-186, 1968.

GRANT, C.A.; LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v.73, n.2, p.223-232, 1993.

GRIMES, D.W.; MILLER, R.J.; WILEY, P.L. Cotton and corn root development in two field soils of different strength characteristics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, p.519-523, 1975.

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.

GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P.; De FRANCHI, S.A. Compaction effects on soil structure, **Advances in Agronomy**, San Diego, v.42, n.2 p. 311-338, 1989.

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.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregation. In: Black, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. chap.8. p.499-510.

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.

KOOREVAR, P.; MENELIK, G.; DIRKSEN, C. **Elements of soil physics**. Amsterdam: Elsevier, 1983. 230 p.

- 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.
- LACERDA, N.B.; ZERO, V.M.; BARILLI, J.; MORAES, M.H.; BICUDO, S.J. Efeitos de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.686-695, set./dez. 2005.
- LAL, R. Soil structure and sustainability. **Journal of Sustainable Agriculture**, Binghamton, v.1, 67-92, 1991.
- 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.
- LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G.; HAYHOE, H.N.; CURNOW, W.E. Divisive field-scale associations between corn yields, management, and soil information, **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.58, p.193-206, 2001.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 1 p. 1-64.
- 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.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2th ed. London: Academic Press, 1995. 887 p.
- MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.32, p.361-369, 2000.

MARTUSCELLO, J.A.; JANK, L.; FONSECA, D.M.; CRUZ, C.D.; CUNHA, D.N.F.V. Repetibilidade de caracteres agronômicos em *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, n.6, p.1975-1981, 2007. Suplemento.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap.1 p.1-5.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio no solo. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. cap.5 p.209-248.

MITSUIKI, C. **Efeito de sistemas de preparo de solo e do uso de microrganismos eficazes nas propriedades físicas do solo, produtividade e qualidade da batata**. 2006. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

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.

OADES, J M. Soil organic-matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.76, p.319-337, 1984.

OTTONI FILHO, T.B. Uma classificação físico-hídrica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.211-222, 2003.

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.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.77 p.79-84, 2004.

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.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549p.

QUEIROZ, J.E.; CRUCIANI, D.E.; LIBARDI, P.L. Estimativa da porosidade drenável de um solo de várzea a partir da tensão de água no solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.52, n.3, 469-475, set./dez. 1995.

RADFORD, B.J.; YULE, D.F.; MCGARRY, D.; PLAYFORD, C. Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.61, p.157-166, 2001.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.17, n.2, p.283-290, maio/ago. 1993.

RIBEIRO, K.D.; NASCIMENTO, J.M.S.; GOMES, N.M.; LIMA, L.A.; MENEZES, S.M. Relações matemáticas entre porosidade drenável e condutividade hidráulica do solo saturado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.6, p.600-606. 2007.

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.

ROCHA, M.G.; RAGASSI, C.F.; FAVARIN, J.L. Macroporosidade do solo cultivado com diferentes gramíneas em sistema de preparo profundo do solo In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP - AGROPECUÁRIAS, 16., 2008, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: USP, 2008.

RUSANOV, V.A. Effect of wheel and track traffic on the soil and crop growth and yield, **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, p.131-143, 1991.

SÁ, M.A.C. Comparação entre métodos para o estudo da estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1825-1834, set. 2002.

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.

SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soil in the tropics**. Raleigh: North Carolina State University, 1976. 618 p.

SANTOS, D. **Perdas de solo e produtividade de pastagens nativas melhoradas sob diferentes práticas de manejo em Cambissolo distrófico (Epiálico) dos campos da Mantiqueira, MG**. 1993. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1993.

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.

SHIPTON, P.J.; COOK, R.J.; SITTON, J.W. Occurrence and transfer of a biological factor in soil that suppresses take-all of wheat in eastern. **Phytopathology**, Saint Paul, v.63, p.511-517, 1973.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, M.L.N. **Erodibilidade e impacto direto de gotas de chuva simulada sobre a superfície de latossolos sob cerrado**. 1994. 109 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

SILVA, I.; MIELNICZUCK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.113-117, 1997a.

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

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap.7 p.275-374.

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.

SOJKA, R.E.; WESTERMANN, D.T.; KINCAID, D.C.; McCANN, I.R.; HALDERSON, J.L.; THORNTON, M. Zone-subsoiling effects on potato yield and grade. **American Potato Journal**, Orono, v.70, n.6, p.475-484, 1993.

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.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto- IAA/ Planalsucar – STOLF (Recomendações para seu uso). **STAB – açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 18-23, jan.-fev. 1983.

SUN, H.; LANEY, F.J.; BULLOCK, M.S. Soil amendments and water-stable aggregation of a desurfaced Dark Brown Chernozem. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.75, n.3, p.319-325, Aug. 1995.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, p.111-119, 1991.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength-root penetration relations to coarse textured materials. **Soil Science**, New Jersey, v.102, n.1, p.18-22, 1966.

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.30, p.217-243, 1994.

THOMPSON, P.J.; JANSEN, I.J.; HOOKS, C.L. Penetration resistance and bulk density as parameters for predicting root system performance in mine soils, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.1288-1293, 1987.

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.

TIPPKÖTTER, R. The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates (60-200 µm). **Zeitschrift fuer Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, v.157, n.2, p.99-104, abr. 1994.

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.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998.

URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; GILLER, K.E. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.30, n.14, p.2099-2106, 1998.

VEPRASKAS, M.J.; WAGGER, M.G. Corn root distribution and yield response to subsoiling for Paleudults having different aggregate sizes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.849-854, 1990.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELO, N.A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 25 p. 483-494.

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.

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.

YODER, R.A. Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **American Society of Agronomy. Journal**, Madison, v.28, n.5, p.337-435, 1936.

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.