

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM ARGISSOLO ESPESSARÊNICO COM
CULTIVO DE CITROS MANEJADOS EM SISTEMAS ORGÂNICO E
CONVENCIONAL**

**VICTOR HUGO DA SILVEIRA
Dissertação de Mestrado**

Porto Alegre, 2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM ARGISSOLO ESPESSARÊNICO COM
CULTIVO DE CITROS MANEJADOS EM SISTEMAS ORGÂNICO E
CONVENCIONAL**

VICTOR HUGO DA SILVEIRA
Engenheiro Agrônomo (UFRGS)

Dissertação apresentada como um dos
requisitos para a obtenção do Grau de
Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil
Agosto de 2013

Aos meus pais **Neide Tadeu e Helenita Inês**,
pelo apoio, dedicação, amor e carinho
dado em todos os momentos da minha vida,
às minhas irmãs **Kátia** e **Caroline** pelo incentivo e companheirismo,
e, em especial, ao meu avô **Adão Jorge da Silveira (*in memoriam*)**
DEDICO este trabalho.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino de qualidade e a oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da UFRGS. Aos professores do curso que de uma forma ou outra participaram da minha formação.

Em especial aos professores, Renato Levien (orientador) e Alberto Inda (co-orientador), pela acolhida e ensinamentos durante o curso de graduação e de pós-graduação.

Ao colega Michael Mazurana, que, além do companheirismo, foi o apoio logístico, intelectual e psicológico, fundamental para a realização deste trabalho.

A todos os colegas da Pós-graduação em Ciência do Solo, em especial Jessé, Tiago, Paula, Catiline, Jessica, Rodrigo, Caroline, Dione, Douglas, Diane, Osmar e demais colegas. Aos bolsistas de Iniciação Científica Darlan, Lucas e Jéferson. Aos colegas do Departamento de Horticultura e Fruticultura da Faculdade de Agronomia da UFRGS.

À Rita Fabiane de Paula, minha namorada, pelo apoio dado e a compreensão pelos momentos de ausência devido à dedicação aos estudos.

Aos colegas da empresa Unifertil, em especial, Igor Neves e Joyce Soares do Departamento Técnico.

E a todos os amigos que fiz ao longo dessa caminhada de estudos e ao longo da vida.

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM ARGISSOLO ESPESSARÊNICO COM CULTIVO DE CITROS MANEJADOS EM SISTEMAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL¹

Autor: Victor Hugo da Silveira

Orientador: Renato Levien

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor de citros do mundo, com 22 milhões de toneladas em 2011 (FAO, 2013). No RS, a produção de citros se concentra em pequenas propriedades de agricultura familiar, muitos destes pomares conduzidos no sistema de cultivo orgânico. Pomares sob manejo orgânico têm apresentado menor produtividade do que aqueles conduzidos pelo sistema convencional. Uma das causas que se tem atribuído é a dificuldade no manejo de pragas, doenças e adubação no sistema orgânico. O objetivo do trabalho foi mensurar os parâmetros físicos do solo e a disponibilidade de água para as plantas e relacioná-los com a produtividade de pomares conduzidos por sistemas de manejo convencional e orgânico em um argissolo espessarênico. Para isso, foram utilizados dois pomares de citros, localizados no município de Montenegro-RS, conduzidos há dez anos nesses dois sistemas de manejo e que foram determinados como tratamentos principais, além de uma área de referencia, escolhida nas adjacências dos pomares. Os subtratamentos foram os locais sem tráfego de máquinas, na linha onde passa o pneu do trator e na linha das plantas. Foi determinada a granulometria do solo, o carbono orgânico, a porosidade e a densidade do solo (DS), a curva de retenção de água, além da realização do ensaio de Proctor, a resistência mecânica do solo à penetração (RP), a taxa de infiltração de água e analisado o complexo sortivo do solo. A profundidade amostrada foi estratificada de acordo com o atributo analisado na camada de 0 e 40 cm. A aplicação do composto orgânico em superfície no pomar manejado sob sistema orgânico originou uma camada orgânica superficial com 5 a 10 cm de espessura. O pomar sob manejo orgânico apresentou maior porosidade total, maior microporosidade e maior retenção de água na camada superficial rica em material orgânico. Essa camada ainda apresentou menor DS. O tráfego de máquinas alterou os parâmetros físicos em ambos os pomares, principalmente a DS, a RP, a macroporosidade e a infiltração de água no solo. A menor produtividade do pomar orgânico não foi consequência da alteração dos parâmetros físicos do solo devido ao tráfego de máquinas.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (65p.). Agosto, 2013. Trabalho realizado com auxílio do CNPq.

PHYSICAL ATTRIBUTES OF AN ARENIC ULTISOL WITH CITRUS CULTIVATION MANAGED IN ORGANIC AND CONVENTIONAL SYSTEMS

Author: Victor Hugo da Silveira

Adviser: Renato Levien

ABSTRACT

Brazil is the biggest citrus producer in the world with 165 million productive plants in the year of 2010 (FAO, 2013). In the state of Rio Grande do Sul (RS) citrus production is concentrated in small family agriculture properties, being many of these orchards conducted through organic farming system. Orchards managed under organic system have presented lower productivity compared to conventional system orchards. One of the causes that have been attributed to it is the difficulty to control pests and diseases, as well as fertilization on the organic system. The present study aims to measure the physical parameters of the soil and the availability of water to plants and relate them with productivity in both organic and conventional system orchards, in Arenic Ultisol. For this purpose, two citrus orchards were used, both in Montenegro city (RS). The orchards have been conducted in these two systems for ten years and those were considered the main treatments plus a separate reference chosen in the vicinity of orchards. The subplots were no traffic zones (ST), the line where the tire of the tractor runs over (TR) and plants line (LP). Soil particle size, organic carbon, soil bulk density, soil porosity, water retention curve, Proctor test, soil mechanic resistance to penetration, water infiltration, and soil sorptive complex were determined. The sampled depth was stratified according to the variable in the 0 to 40 cm layer. The application of organic compost fertilizer generated a layer high on organic matter, in the 0 to 10 cm depth. The organic orchard showed higher total porosity, higher microporosity and higher water retention in the surface soil layer. This layer presented lower soil density. Machine traffic altered physical parameters in both systems, especially soil density and penetration resistance, macroporosity and soil-water infiltration. The lower productivity in the organic orchard is not due to physical parameters alteration from machine traffic.

¹ Master's Thesis in Soil Science. Programa de pós-graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (65p.). August, 2013. Financial Support By CNPq.

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 Citros no Brasil e no Rio Grande do Sul | 3 |
| 2.2 As Plantas Cítricas | 4 |
| 2.3 Produção Orgânica e Convencional | 5 |
| 2.4 Aptidão agrícola dos solos arenosos | 8 |
| 2.5 Dinâmica da água no solo | 9 |
| 2.6 Tráfego de máquinas em pomares e suas consequências sobre os atributos do solo | 11 |
| 2.7 Fertilidade do solo em pomares de citros | 14 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 3.2 Manejo do pomar conduzido no sistema orgânico | 17 |
| 3.3 Manejo do pomar conduzido no sistema convencional | 18 |
| 3.4 Delineamento experimental | 19 |
| 3.5 Amostragem do solo | 19 |
| 3.6 Determinações em laboratório..... | 20 |
| 3.6.1 Curva de retenção de água | 20 |
| 3.6.2 Granulometria, densidade, macro, micro e porosidade total do solo..... | 20 |
| 3.6.3 Ensaio de Proctor | 21 |
| 3.6.4 Matéria orgânica e complexo sortivo do solo | 21 |
| 3.7 Avaliações no campo..... | 22 |
| 3.7.1 Resistência mecânica do solo à penetração e teor de umidade | 22 |
| 3.7.2 Infiltração de água no solo | 23 |
| 3.8 Análise estatística dos dados | 23 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 24 |
| 4.1 Produtividade dos pomares | 24 |
| 4.2 Granulometria do solo | 24 |
| 4.3 Matéria orgânica do solo | 26 |
| 4.4 Densidade do solo | 28 |
| 4.5 Resistência mecânica do solo à penetração | 35 |
| 4.6 Porosidade do solo | 39 |

| | |
|--------------------------------------------|-----------|
| 4.7 Macro e microporosidade do solo..... | 42 |
| 4.8 Infiltração de água no solo..... | 46 |
| 4.9 Curva de retenção de água no solo..... | 48 |
| 4.10 Disponibilidade de nutrientes..... | 51 |
| 5. CONCLUSÃO | 53 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 54 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 55 |
| 8. APÊNDICES | 61 |

RELAÇÃO DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Época de aplicação e volume aplicado de composto sólido e líquido no pomar orgânico | 17 |
| Tabela 2. Caracterização da granulometria do solo nos pomares convencional e orgânico, na testemunha e nas profundidades amostradas | 25 |
| Tabela 3. Distribuição granulométrica da fração areia para os pomares orgânico e convencional e para a testemunha nas profundidades amostradas | 26 |
| Tabela 4. Teor de matéria orgânica do solo nos pomares convencional e orgânico, na testemunha e em cada camada amostrada | 27 |
| Tabela 5. Valores médios de densidade do solo para cada profundidade amostrada no pomar convencional, orgânico e na área testemunha..... | 29 |
| Tabela 6. Valores médios de densidade do solo (Mg m^{-3}) nos pomares, para as camadas amostradas e condições de tráfego (LP, TR e ST) | 30 |
| Tabela 7. Umidade gravimétrica ótima para máxima compactação (U_g ótima) e densidade máxima do solo ($DS_{\text{máx}}$) em cada profundidade, para os pomares convencional, orgânico e na área testemunha | 33 |
| Tabela 8. Densidade máxima do solo ($DS_{\text{máx}}$), densidade real do solo (DS) e densidade relativa (DR) nos pomares convencional, orgânico e na área testemunha, para cada subtratamento (ST, TR e LP) e nas profundidades de 0 a 10 e de 10 a 20 cm | 34 |
| Tabela 9. Valores médios de porosidade total para os sistemas de manejo (Conv e Org), na área testemunha e nas profundidades amostradas | 40 |
| Tabela 10. Valores médios de porosidade total nos pomares convencional e orgânico, para as camadas em estudo e em cada subtratamento de condição de tráfego (LP, TR e ST)..... | 41 |
| Tabela 11. Valores médios* de macroporosidade do solo para os subtratamentos (LP, TR e ST) em ambos os pomares nas camadas amostradas | 42 |
| Tabela 12. Valores médios de microporosidade do solo nas camadas estudadas para os tratamentos orgânico e convencional | 44 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 13. Valores médios de microporosidade do solo para os pomares convencional e orgânico, na área testemunha e nas profundidades amostradas | 45 |
| Tabela 14. Taxa constante de infiltração de água no solo em cada pomar e na testemunha, bem como nos subtratamentos de condição de tráfego (ST, TR e LP) | 47 |
| Tabela 15. Resultados da análise química de rotina para o solo dos pomares orgânico, convencional e na testemunha, amostras coletadas em Março de 2012..... | 52 |

RELAÇÃO DE FIGURAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Perfil de amostragem no solo do pomar orgânico de laranja 'Valencia'. Montenegro-RS 2012. | 28 |
| Figura 2. Densidade do solo nos pomares convencional (a) e orgânico (b) para cada condição de tráfego (ST, TR e LP) e nas profundidades amostradas..... | 31 |
| Figura 3. Resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo nos subtratamentos para os pomares convencional e orgânico, nas profundidades em estudo (ST, TR e LP). | 37 |
| Figura 4. Perfil de resistência do solo à penetração no pomar convencional. . | 38 |
| Figura 5. Perfil de resistência do solo à penetração no pomar orgânico..... | 39 |
| Figura 6. Valores médios de porosidade total para os sistemas de manejo convencional (a) e orgânico (b), em cada subtratamento e nas profundidades amostradas. | 41 |
| Figura 7. Macroporosidade do solo para os sistemas de manejo convencional (a) e orgânico (b), para os subtratamentos (ST, TR e LP) e nas profundidades amostradas. | 43 |
| Figura 8. Microporosidade do solo nos sistemas de manejo convencional (a) e orgânico (b), em cada subtratamento (ST, TR e LP) e nas profundidades amostradas. | 45 |
| Figura 9. Curvas de infiltração de água no solo do pomar convencional. | 46 |
| Figura 10. Curvas de infiltração de água no solo do pomar orgânico. | 46 |
| Figura 11. Curvas de retenção de água no solo para o pomar convencional em cada subtratamento de condição de tráfego e profundidades. | 50 |
| Figura 12. Curvas de retenção de água no solo para o pomar orgânico em cada subtratamento de condição de tráfego e profundidades. | 50 |

RELAÇÃO DE APÊNDICES

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Apêndice 1. Caracterização química e física do composto sólido e líquido da Cooperativa Ecocitrus de Montenegro em 2006. | 61 |
| Apêndice 2. Mapa de localização dos subtratamentos ST, TR e LP e as profundidade amostradas em cada repetição | 62 |
| Apêndice 3. Conjunto de fotos ilustrando a coleta de amostras no solo..... | 62 |
| Apêndice 4. Produção anual de laranjas nos pomares orgânico e convencional entre os anos de 2004 e 2011 | 63 |
| Apêndice 5. Análise de variância (Anova) para os valores de matéria orgânica do solo | 63 |
| Apêndice 6. Análise de variância para variável densidade do solo | 64 |
| Apêndice 7. Análise de variância para a densidade máxima que o solo pode atingir pelo ensaio de Proctor | 64 |
| Apêndice 8. Análise de variância para a Umidade ótima para máxima compactação do solo pelo ensaio de proctor..... | 64 |
| Apêndice 9. Análise de variância para os valores médios de porosidade total | 64 |
| Apêndice 10. Análise de variância para os valores de macroporosidade do solo | 65 |
| Apêndice 11. Análise de variância para os valores de microporosidade do solo | 65 |
| Apêndice 12. Análise de variância para os valores de velocidade de infiltração básica de água no solo | 65 |

1. INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira é responsável pela produção de 53% do suco de laranja produzido no mundo (FAO, 2013). O Brasil é o maior produtor de laranja do mundo e na safra 2011/2012 foram colhidas 19,3 milhões de toneladas da fruta no país em (AGE/MAPA, 2013). O Estado de São Paulo é o principal produtor e exportador de laranja e de suco de laranja do Brasil. No Estado do Rio Grande do Sul (RS), a laranja é a segunda fruta mais plantada, com uma área de 27,7 mil ha no ano de 2011 (IBGE, 2013).

No RS, a produção de citros se concentra em pequenas propriedades de agricultura familiar, boa parte destas localizadas no Vale do Rio Caí, região denominada como Encosta Inferior do Nordeste. Essas propriedades têm como características o uso de mão-de-obra familiar e uma estruturação comercial na forma de cooperativas. A maior demanda é por frutas de mesa para consumo “in natura” com uma crescente procura por alimentos produzidos em sistemas de cultivo orgânico, sem uso de agrotóxicos e manejados de uma forma menos agressiva aos ecossistemas naturais.

Atenta às demandas do mercado consumidor, parte dos citricultores gaúchos, buscando atender aos nichos de mercado de produtos orgânicos e a sustentabilidade da sua propriedade, mudou a forma de manejo de seus pomares. Dentre essas, o manejo orgânico se destaca, onde a independência da utilização de insumos industrializados no processo produtivo é a principal característica do sistema. A lei N° 10.831, de 23 de Dezembro de 2003, rege os processos produtivos do cultivo orgânico, enquanto que, para o sistema convencional não existe legislação específica, sendo o manejo feito de forma que maior rentabilidade econômica seja alcançada. Os insumos utilizados no

cultivo convencional são registrados e liberados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

No processo de produção orgânica, destacam-se na região produtores que utilizam como fertilizante o composto orgânico oriundo da compostagem de resíduos provenientes do processamento de alimentos e sistemas de produção animal. Muitos pomares receberam e ainda recebem grandes quantidades de resíduo orgânico compostado, que é distribuído na superfície do solo servindo como fertilizante para os pomares.

Pomares sob manejo orgânico têm apresentado menor produtividade do que aqueles conduzidos pelo sistema convencional. Uma das causas que se tem atribuído é a dificuldade no manejo de pragas, doenças e adubação equilibrada no sistema orgânico.

A alteração do sistema de manejo passando da forma de manejo convencional para o orgânico pode alterar os parâmetros físicos do solo. Essas alterações podem ser mais significativas nos pomares com a adição de composto orgânico na superfície do solo e em grandes quantidades.

A hipótese deste trabalho é que as formas de manejo convencional e orgânico em pomares de citros influenciam os atributos físicos e químicos do solo, a disponibilidade de água para as plantas e, conseqüentemente, a produtividade de frutas.

O objetivo do trabalho foi mensurar os parâmetros físicos do solo e a disponibilidade de água para as plantas e relacioná-los com a produtividade de pomares conduzidos em sistemas de manejo convencional e orgânico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Citros no Brasil e no Rio Grande do Sul

O Brasil é o segundo maior produtor de citros do mundo, com 22 milhões de toneladas em 2011 (FAO, 2013). Com 165 milhões de plantas em produção, gerando uma arrecadação bruta, em 2009, de 6,5 bilhões de reais (Neves, 2010). No Brasil, 85% da laranja doce é produzido na região Sudeste, enquanto a região Sul produz 4,79% (IBGE, 2013). A produção na região Sudeste tem como principal característica a escala de produção e, para isso, o manejo convencional é o predominante, atendendo a demanda do mercado externo de exportação, principalmente de suco.

No Estado do Rio Grande do Sul, a citricultura é a atividade frutícola que ocupa a segunda maior área plantada, produzindo, em 2012, 371 mil toneladas de frutas (IBGE, 2013). Boa parte da produção de citros no Estado está na região do Vale do Cai e em propriedades pequenas (2 a 5 ha), que utilizam, predominantemente, mão-de-obra familiar. A atividade exerce papel fundamental nessas famílias, mantendo o homem no campo e gerando emprego e renda. A maioria da produção é voltada para o consumo “in natura” de frutas.

Neste cenário, o mercado consumidor de frutas cítricas demonstra-se cada vez mais exigente no que tange o processo produtivo dos alimentos, sendo esta também uma tendência global. Com isso, uma fatia do mercado está se voltando para produtos orgânicos certificados. Segundo Homma (2005), um número crescente de pesquisadores aponta para a necessidade de buscar sistemas alternativos de produção para a citricultura, em vista da ampliação do mercado de produtos orgânicos certificados.

2.2 As Plantas Cítricas

As laranjeiras, tangerineiras, limoeiros, limeiras (ácidas e doces), pomeleiros, cidreiras e toranjeiras compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunella* e *Poncirus*). São originários, principalmente, das Regiões Subtropicais e Tropicais da China ao Japão, do Sudeste da Ásia, incluindo áreas do Leste da Índia, Bangladesh, Filipinas, Indonésia, Austrália e África (Weber et al., 1967). Os citros foram levados à Europa na época das cruzadas e chegaram ao Brasil no século XVI, trazidos pelos portugueses (Mattos Junior et al., 2003).

São plantas perenes de porte médio, podendo atingir até 8 m de altura, tronco com casca castanho-acinzentada e copa densa, de formato arredondado. As laranjas têm os frutos com formato arredondado e a casca tem coloração variável de acordo com a variedade, a polpa é aquosa e com coloração que pode variar de amarelo-claro a vermelha (Pompeu Jr., 1991).

O potencial de produção de frutos dos citros, em pomares comerciais, é determinado, principalmente, pelo valor genético das variedades copa e porta-enxertos (Pompeu Jr., 1991). O uso da enxertia tornou-se fundamental para contornar o problema da juvenilidade das plantas, manutenção da resistência ou tolerância dos citros a fatores bióticos, como a tristeza dos citros, e abióticos, como a eficiência do uso da água e de nutrientes, e aumento da produtividade e da qualidade da fruta (Mattos Jr. et al., 2003). As respostas da taxa de fotossíntese e das relações hídricas em laranjeiras são afetadas pelo porta-enxerto utilizado, tanto sob condições normais quanto sob estresse hídrico, com consequência sob o vigor geral da planta (Syvertsen, 1984).

Nas áreas cultivadas com citros no Brasil, é comum ocorrer deficiência hídrica no solo, associada a altos déficits de pressão de vapor, aumentando as limitações à expressão da produtividade potencial (Medina et al., 1999). As plantas cítricas estão mais propensas a sofrer de estresse hídrico e deficiência de nutrientes por causa de seu sistema radicular limitado. Ambos os problemas podem resultar da concorrência das ervas daninhas e isso pode gerar déficit no crescimento das plantas. O tempo do plantio à primeira colheita influencia a viabilidade econômica de um pomar. Assim, os produtores de

citros devem atentar ao manejo do pomar, principalmente, quando este for manejado no sistema de cultivo orgânico.

Quanto ao sistema radicular dos citros, além de uma baixa condutividade da seiva, que varia em função da temperatura do ar e do solo e do porta-enxerto utilizado, as raízes se concentram superficialmente no perfil do solo (Silva, 2005). Stenzel et al. (2005), em estudo realizado nas regiões Norte e Noroeste do Paraná verificaram que os fluxos de maior crescimento de todas as combinações de variedades copa/porta-enxerto de laranjeiras `Valência` foram nos períodos em que não houve deficiência hídrica no solo. Os períodos de menor disponibilidade de água coincidiram com a redução do fluxo de crescimento das plantas.

2.3 Produção Orgânica e Convencional

A demanda por alimentos produzidos em sistemas orgânicos tem aumentado cada vez mais em todo o mundo. Segundo dados da FAO (Kawakami, 2010), a agricultura orgânica foi o setor de alimentos no mundo que cresceu com a maior taxa entre o período de 1995 e 2005. A taxa foi de 15 a 20% ao ano, contra 4 a 5% ao ano da indústria de alimentos não orgânicos, neste mesmo período. No Brasil, segundo dados do censo agropecuário de 2006, 90 mil produtores se declarou como produtores orgânicos e desses somente 5% eram certificados (IBGE, 2006). Diante desse cenário, pode-se fazer as seguintes perguntas: 1° quando um alimento ou seu sistema de produção deixa de ser convencional e passa a ser orgânico? 2° quais critérios são usados para dizer que algo que até então não era “orgânico” passa a ser chamado de “orgânico”?

Segundo a legislação brasileira, entende-se por sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização de recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente

modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização, e a proteção do meio ambiente, lei n° 10.831(Brasil, 2003).

O sistema de cultivo orgânico abrange as denominações como produção ecológica, biodinâmica, regenerativa, natural, biológica, agroecológica, permacultura, dentre outras que atendam os princípios da lei. Apesar da lei da produção orgânica ser de 2003, o decreto 6.323, que regulamenta as atividades é de 2007, ao passo que as instruções normativas que estabelecem as normas técnicas do sistema orgânico de produção são mais recentes, de 2008 e 2009. O pouco conhecimento sobre os produtos orgânicos é comum entre os consumidores e também entre os produtores. Em pesquisa realizada no município de Guarapuava-PR, 40% da população não soube responder a pergunta: o que o senhor (a) entende por alimento orgânico? (Kawakami, 2010).

O cultivo orgânico tem como principal bandeira a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Segundo Piamonte (1995), o conceito de sustentabilidade mais difundido é o encontrado no relatório de Brundtland: “desenvolvimento sustentável significa atender às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades”. A sustentabilidade está alicerçada em três aspectos que a englobam: o aspecto ambiental, social e econômico. Esses devem estar em completa harmonia para que uma propriedade rural, por exemplo, seja considerada sustentável. A agroecologia é definida por Gliessman (2001) como sendo a aplicação de conceitos e princípios ecológicos no desenho e manejo de agroecossistemas sustentáveis. A possibilidade de interação dos componentes do sistema produtivo faz com que aumente a diversidade ecológica e o torne gradativamente mais sustentável.

A certificação dos produtos orgânicos é que garante ao consumidor que determinado produto foi conduzido em sistema orgânico de produção. Segundo a legislação brasileira, certificação orgânica é o ato pelo qual um organismo de avaliação da conformidade, credenciado, confere garantia por escrito que uma produção ou processo claramente identificado foi metodicamente avaliado e está em conformidade com as normas de produção orgânica vigente (BRASIL, 2003). O produto orgânico geralmente é oriundo de propriedades pequenas e

de mão-de-obra familiar; a certificação ajuda na comercialização e retorna ao produtor, fazendo com que esse se mantenha no campo produzindo alimentos de qualidade.

Os insumos que podem ser usados como fertilizantes nos cultivos orgânicos são regulamentados pela normativa n° 46 (IN 46), de 06 de outubro de 2011, no artigo terceiro, incisos I a III. De acordo com esta normativa, é possível o uso de biofertilizante, compostagem e composto orgânico, desde que produzidos isentos de substâncias proibidas pela regulamentação de orgânicos. Segundo Oliveira et al. (2010), a aplicação dessas substâncias como fertilizantes deve obedecer ao plano de manejo orgânico do pomar que requer autorização prévia do organismo de avaliação da conformidade orgânica. Estas entidades devem especificar as matérias primas e o processo de obtenção de produtos, a quantidade a ser aplicada e a necessidade de análise laboratorial em caso de suspeita de contaminação. Na instrução normativa de n° 46, o Artigo 96 refere que a irrigação e aplicação de insumos devem ser realizadas de forma a evitar desperdícios e poluição da água de superfície e do lençol freático (BRASIL, 2011).

Tais apontamentos que a legislação aborda são extremamente abrangentes, não definindo quantidades, periodicidade de aplicação, etc. Logo, responder ao questionamento anteriormente realizado, com base na legislação, é tarefa bastante difícil. Há necessidades urgentes e claras de se estabelecer parâmetros de manejo, especialmente no tocante às reais necessidades dos processos produtivos em nível de campo, produto e produtor, a fim de oferecer melhores garantias ao produtor e consumidor, de que um alimento atende, de fato, aos preceitos da produção orgânica sem agredir o ambiente atual e futuro.

Para o cultivo convencional, não existe uma lei que regulamente o manejo das áreas, mas sim qual, quanto e quando um produto ou técnica pode ser aplicado, o que, aparentemente, torna o sistema mais “fácil” de manejar. O sistema tem como princípio a utilização de insumos externos, sintéticos ou não, visando a máxima produtividade com maior retorno econômico. É permitido aos produtores o uso de produtos que são liberados pelo Ministério da Agricultura e que devem ser utilizados conforme as suas especificações técnicas. Da mesma forma que o manejo orgânico, o conhecimento a respeito dos usos de tais ferramentas em médio e longo prazo são, por vezes, difíceis de serem

mensurados. Assim, ambos os sistemas necessitam de maiores, melhores e constantes investigações sobre a real sustentabilidade de cada um.

2.4 Aptidão agrícola dos solos arenosos

Para que o solo seja caracterizado como arenoso este deve ter em sua composição a maioria das partículas na fração areia. Um solo que tem em sua composição textural mais de 45% de areia, pode ser classificado como franco arenosa, franco argilo arenosa ou argila arenosa. Quando o solo apresentar menos de 15% de argila e mais de 70% de areia esse é classificado como areia franca, e quando apresentar mais de 85% de areia e menos de 10% de argila é considerado areia.

De acordo com Schneider (2007), para classificar as terras quanto à sua aptidão agrícola, são consideradas diversas características que influem na resposta das terras às práticas agrícolas. As características são avaliadas de acordo com o grau de limitação ao uso agrícola. Segundo esses mesmos autores, as limitações que aumentam os riscos de degradação do solo são a declividade acentuada, a variação abrupta de textura com aumento da proporção de argila do horizonte superficial para os horizontes subsuperficiais, textura inapropriada nos horizontes superficiais (arenosa, franca ou siltosa) associada com declive acentuado, estrutura fraca, entre outras. Ainda como limitantes na produtividade das culturas estão a deficiência de água, a baixa capacidade de troca de cátions e a alta resistência do solo à penetração das raízes.

A textura do solo é uma das características morfológicas do solo e a definição desta ajuda a caracterizar a anatomia do solo. O manejo dos solos arenosos se torna mais complexo devido à suscetibilidade destes solos à erosão, a baixa fertilidade natural, a menor capacidade de retenção de água do solo e menor disponibilidade de água para as plantas. Isso ocorre devido às partículas de areia, que são as predominantes nesses solos, terem uma pequena área superficial específica e uma baixa capacidade de troca de cátions, conseqüentemente estes solos são menos reativos, tendo menor disponibilidade de nutrientes e água para as plantas.

2.5 Dinâmica da água no solo

Importante constituinte do ciclo hidrológico, o solo tem papel fundamental no armazenamento de água, tanto na camada superficial, como no abastecimento dos reservatórios subsuperficiais. Além de armazenar água, o solo mantém esta disponível para as plantas. O crescimento das plantas depende fundamentalmente de água, pois sem água não existiria vida na terra.

O solo é um sistema trifásico, disperso e heterogêneo. Composto por minerais, que representam 45% do solo, aproximadamente 5% de matéria orgânica, e os outros 50% por ar e água. A parte mineral é constituída de partículas unitárias de diversas formas, tamanhos, arranjos e composições. O conjunto de partículas de vários tamanhos dá origem à textura do solo, enquanto que o arranjo destas dá origem à estrutura do solo (Ferreira, 2010). O conteúdo gravimétrico de água, a agregação, a estrutura, a disponibilidade de água e a atividade microbiológica estão relacionados à fase sólida do solo e seus minerais.

Segundo (Ferreira, 2010), a definição mais abrangente para estrutura do solo foi dada por Marshall (1962), que a definiu como sendo “o arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas, incluindo ainda o tamanho, forma e arranjo dos agregados formados quando partículas primárias se agrupam em unidades separáveis”.

A dinâmica da água no solo é regida por um complexo sistema de forças (energia) que governa a sua retenção e movimentação no solo. O potencial total de água no solo é composto pelo potencial gravitacional, que é a força gravitacional sobre a água no solo; pelo potencial de pressão, que ocorre em condições de solo saturado; e pelo potencial mátrico, que é a retenção de água na matriz do solo, governada pelas forças capilares e as forças de adsorção (Klein, 2008).

A textura do solo é o principal fator responsável pela retenção de água no solo. A distribuição granulometria do solo que define a área de contato entre as partículas do solo e da água. Solos argilosos apresentam maior área superficial específica e, conseqüentemente, maior capacidade de retenção de água. A textura do solo não é afetada pelo manejo, mas o manejo pode afetar a estrutura, modificando a retenção e a dinâmica da água no solo (Hillel, 2004).

Em solos arenosos, mais importante que o conhecimento da textura (proporção de areia, silte e argila) é conhecer a distribuição do tamanho da fração areia, ou seja, a quantidade de areia fina e muito fina que existe. Isto é importante pelo fato de que, embora a areia fina tenha pouca importância do ponto de vista químico, do ponto de vista físico é extremamente importante, devido ao fato de reter mais água pela acomodação das partículas (Klein, 2008). Isso permite uma maior possibilidade de sucesso no estabelecimento de cultivos sob este tipo de condição

Além disso, um maior conteúdo de matéria orgânica aumenta a retenção de água no solo. O material orgânico decomposto e estabilizado, quando presente no solo, devido a sua maior área superficial específica, aumenta a retenção de água e a capacidade de troca de cátions, melhorando a estrutura do solo.

A curva de retenção de água descreve a habilidade do solo para armazenar água em diferentes tensões e é uma das principais propriedades físicas do solo, além de expressar a relação entre a energia em que a água está retida e o conteúdo de água no solo (Silva et al., 2010). São definidas quatro faixas de disponibilidade de água as plantas: solo muito úmido, ou seja, água que excede a capacidade de campo; solo úmido, ou seja, conteúdo de água entre a capacidade de campo e o conteúdo crítico de água; solo seco, ou seja, conteúdo de água entre o conteúdo crítico de água e o ponto de murcha permanente; solo muito seco, ou seja, conteúdo de água menor que o ponto de murcha permanente (Lier, 2010).

Um dos fatores limitantes da produção agrícola em solos arenosos é a menor capacidade que esses solos têm de reter e disponibilizar água, principalmente nos intervalos entre eventos de precipitação pluviométrica. O estresse hídrico se manifesta nas plantas em poucos dias de estiagem quando cultivadas em solos arenosos.

A infiltração de água se dá através do meio poroso do solo que está relacionado à quantidade e a característica dos poros. A principal característica do meio poroso do solo é o diâmetro dos poros. A porosidade do solo é basicamente dividida em macroporos, que são responsáveis pela infiltração e aeração do solo, e os microporos, que são responsáveis pela retenção, armazenamento e redistribuição de água.

A textura do solo influencia na sua porosidade. Um solo arenoso tem uma maior quantidade de macroporos, enquanto que um solo argiloso apresenta maior quantidade de microporos. Um maior volume de macroporos possibilita uma maior velocidade de infiltração de água, ou seja, a água penetra no solo com maior facilidade. A estrutura e o arranjo das partículas no sistema solo definem a distribuição do diâmetro dos poros e a ligação entre um poro e outro do solo (Klein, 2008).

Uma das formas de aumentar a disponibilidade de água para as plantas é aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo (MOS), aumentando a retenção de água e a qualidade do solo. Segundo Borges et al. (2003), os fatores que determinam a qualidade do solo são aqueles que têm influência no crescimento das plantas, tais como agregação, retenção de água, teores de nutrientes, presença de patógenos, população microbiana, etc. Nesse contexto, destaca-se a definição de qualidade do solo descrita pela Sociedade Americana de Ciência do Solo (SSSA): “a qualidade do solo é um atributo intrínseco deste, o qual pode ser inferido a partir de suas características e propriedades ou observações indiretas”. Segundo Silva et al. (2010), até recentemente a avaliação da qualidade física do solo era tratado de maneira genérica e qualitativa. O avanço das pesquisas e o reconhecimento da importância do correto manejo do solo estão culminando no desenvolvimento de indicadores quantitativos da qualidade física do solo.

2.6 Tráfego de máquinas em pomares e suas consequências sobre os atributos do solo

Segundo Klein (2008), as práticas culturais afetam a estrutura do solo, alterando a densidade e, em consequência, a porosidade, a distribuição do tamanho dos poros e a resistência à penetração. Em pomares, o tráfego de máquinas se dá sempre no mesmo local, ou seja, na entre linha das plantas, formando verdadeiras estradas dentro dos pomares. Fidalski et al. (2007) apontam que o manejo mecanizado na cultura dos citros resulta na heterogeneidade das propriedades físicas do solo. Segundo Souza et al. (2011), o uso de maquinário para as operações de manejo, como adubações e

pulverizações, provoca degradação da estrutura do solo nas áreas citrícolas, sendo que o maquinário chega entrar na área 15 vezes por ano.

Uma das consequências desse intenso tráfego é a compactação do solo. A compactação do solo é definida como um aumento na densidade do solo, causado pelo homem ou por animais, resultado do rearranjo das partículas do solo e, conseqüentemente, redução da porosidade. O grau de compactação do solo tem sido avaliado pela sua densidade ou pela resistência à penetração (Reichert et al. 2010). É importante observar a profundidade em que ocorre a compactação, se ela é superficial ou subsuperficial. A compactação causada por animais geralmente é superficial, enquanto que a causada pelas máquinas agrícolas tende a atingir maiores profundidades no perfil do solo. A compactação subsuperficial é mais difícil de ser remediada, devido à necessidade do revolvimento do solo nessas camadas mais profundas, aumentando os custos da operação.

A profundidade e a intensidade da compactação do solo pelo tráfego de máquinas dependem da forma de aplicação e da magnitude das tensões aplicadas, ou seja, do tipo e da dimensão dos rodados e da carga sobre eles aplicada (Hamza e Anderson, 2005).

A compactação do solo modifica a quantidade e distribuição de tamanho de poros, alterando a quantidade e o fluxo de água no solo e aumentando a sua resistência à penetração, reduzindo a aeração, influenciando no desenvolvimento das raízes, prejudicando suas atividades metabólicas e, como consequência, diminuindo a qualidade e quantidade dos produtos agrícolas colhidos (Pedrotti et al., 2005). A densidade do solo é determinada pela relação entre a massa de solo seco em estufa e o seu respectivo volume total, representando o arranjo das partículas do solo e do sistema poroso.

Diversas formas de identificar e mensurar as condições de solo apontando possíveis problemas de degradação física, como a compactação, vêm sendo estudadas, como, por exemplo, o ensaio de Proctor. Pelo ensaio de Proctor se obtém a máxima compactação que o solo pode atingir. No ensaio, a energia de compactação é constante e a umidade do solo é crescente até que se chegue à umidade ótima para a máxima compactação. A densidade máxima que o solo pode atingir depende da composição textural. A umidade ótima para

a compactação depende do teor de argila do solo e o teor de matéria orgânica reduz a densidade máxima do solo (Klein, 2008).

O valor de máxima densidade que o solo pode atingir é útil quando comparado à densidade do solo no campo. Klein (2006) propôs o conceito de densidade relativa (DR), que é a divisão da densidade do solo no campo pela densidade máxima obtida pelo ensaio de Proctor no mesmo solo. O mesmo autor ressalta que valores de densidade relativa prejudiciais ao crescimento radicular das plantas variam de acordo com o teor de argila no solo. Para solos arenosos, o valor de DR crítico para o crescimento das plantas fica, na maioria dos casos, acima de 0,90 e para solos argilosos esse valor de DR quando maior que 0,86 pode causar prejuízos no crescimento das plantas, isso para cultivos anuais. Em culturas perenes, poucos estudos foram realizados utilizando essa ferramenta.

Outro indicador é a resistência mecânica do solo à penetração, que descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al., 2001). Andrioli et al. (2003) observaram, em um experimento realizado em Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, menor presença de raízes de laranjeira `Valencia` na zona de tráfego de máquinas e valores de resistência à penetração de cerca de 3,9 MPa, superiores aos valores identificados na região sem tráfego, de aproximadamente 2 MPa.

A resistência mecânica do solo à penetração (RP) é dependente do conteúdo de água, da densidade do solo e da distribuição do tamanho das partículas (Reichert et al., 2010). Os níveis críticos de RP para o crescimento das plantas variam de acordo com o tipo de solo e a planta que está sendo cultivada. Importante na avaliação da RP é o conteúdo de água no solo no momento do ensaio, para efeito de comparação entre sistemas de manejo e locais da obtenção dos dados, evitando influência da umidade nos resultados obtidos.

As zonas de tráfego de máquinas em pomares são caracterizadas pela compactação do solo nessas áreas. O aumento da densidade reduz o espaço poroso e rearranja a distribuição dos poros no solo. A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico do solo (Klein, 2008). O

tráfego de máquinas tende a diminuir a capacidade de infiltração de água no solo (Li et al., 2007), devido à redução da macroporosidade do solo.

Ferreira (2010) salienta que a caracterização do sistema poroso é importante nos estudos que envolvem o armazenamento, o movimento de água e dos gases no solo, o desenvolvimento radicular das plantas, os problemas relativos ao fluxo e retenção de calor e nas investigações de resistência mecânica dos solos. O mesmo autor ainda menciona a importância do conhecimento da distribuição dos tamanhos dos poros do solo e não somente a simples determinação da porosidade total.

O crescimento das plantas de citros depende de propriedades físicas do solo tais como porosidade, drenagem, aeração, densidade do solo, textura, capacidade de retenção de água, estrutura, profundidade do solo, capacidade de infiltração e outros fatores que facilitam ou dificultam o crescimento das raízes (Koller, 1994).

2.7 Fertilidade do solo em pomares de citros

Em solos compactados, pode-se esperar redução da extensão do sistema radicular. Esse mesmo efeito é também esperado em solos ácidos devido à diminuição de absorção de nutrientes pela ocorrência de elementos tóxicos como o alumínio, ou pela própria deficiência de nutrientes, principalmente fósforo e cálcio (Anghinoni & Meurer, 1999).

A disponibilidade de nutrientes para as plantas em pomares segue a premissa de que a planta explora um grande volume de solo. A adubação de base na implantação da cultura deve ser criteriosa e seguir as recomendações técnicas, pois a posterior correção de qualquer falha nesse processo é muito dificultosa. A análise do solo deve ser realizada com antecedência e com base na máxima profundidade de exploração das raízes da planta frutífera. No RS, a recomendação para a adubação em pomares segue o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2004).

Para a cultura dos citros as recomendações são bastante diversificadas, sendo que além do Manual citado a cima alguns produtores seguem as recomendações do Grupo Paulista de Adubação e Calagem para Pomares de Citros. O manejo da adubação varia de acordo com a região, o clima, o tipo de

solo, a variedade, a idade da planta e a produtividade a ser alcançada. Todos os nutrientes devem ser mantidos em níveis adequados para alcançar altas produtividades nos citros, destacando os macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e os micronutrientes (Fe, B, Zn, Mn, Cu e Mo). Plantas que enfrentam carências nutricionais evidenciam sinais de deficiência de nutrientes, que não são absorvidos em quantidades suficientes, como cloroses e alterações na forma e/ou tamanho das folhas; atraso ou diminuição na taxa de crescimento; morte de ramos novos; redução ou falta de floração ou frutificação, e anomalia nos frutos (Koller, 2005).

Na agricultura orgânica, a nutrição é baseada na liberação lenta dos nutrientes, mediados pelos microrganismos (Petry, 2012). Segundo Gliessman (2001), aportes elevados de matéria orgânica são cruciais para estimular a diversificação de espécies, sendo o insumo matéria orgânica, um componente chave da agricultura orgânica para elevar a MOS. A aplicação contínua do mesmo adubo orgânico pode resultar em desbalanço dos níveis dos nutrientes no solo, pelo simples fato que a maioria dos adubos orgânicos não conterem os nutrientes em total equilíbrio (Morton & Proebst, 2003).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em pomares localizados no Centro de Formação da Emater/Ascar, no município de Montenegro- RS, localizado na área central do Vale do Caí, Encosta Inferior Nordeste, região fisiográfica do Estado (29°41'19" de latitude sul e 51°27'40" de longitude oeste) a uma altitude de 31 metros. O clima na região é subtropical úmido de verão quente e, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cfa. A média anual de precipitação pluviométrica na região é de 1.400 mm e a umidade relativa do ar fica em torno de 77,3 % (Bergamaschi et al., 2003). De acordo com Streck et al. (2008), o solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico espessarênico, pertencente à Unidade de Mapeamento Bom Retiro. É um solo oriundo de arenito (formação Botucatu), ocupando um relevo ondulado a forte ondulado.

Antes da implantação dos pomares de citros, objetos deste estudo, a área foi utilizada como pastagem para vacas leiteiras e a vegetação predominante era de capim-anoni (*Eragrostis plana*). No ano de 2001, no mês de agosto, foram implantados dois pomares de laranjeiras `Valencia` (*Citrus sinensis*) distantes 300 metros um do outro, um deles com o objetivo de ser manejado no sistema convencional e o outro, no sistema orgânico. Cada pomar consta de 147 plantas, espaçadas de 2,5 metros entre plantas na linha e 5 metros entre as linhas de plantas, totalizando uma área plantada de 1.837,5 m². A declividade do terreno varia entre 3 e 5 %. Os pomares têm quebra ventos formados por uma linha de *Pinus ellioti*, com espaçamento de 1,5 m entre plantas e uma faixa de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). As linhas de plantas estão orientadas no sentido sudoeste-nordeste e antes do plantio as áreas receberam uma aração e duas gradagens. As mudas,

adquiridas em viveiro local, estavam isentas de cancro cítrico, foram plantadas em covas, com formação de bacia de irrigação, sendo retirada a metade das folhas de cada muda (Petry, 2012).

3.2 Manejo do pomar conduzido no sistema orgânico

O pomar orgânico foi fertilizado com composto orgânico em diferentes períodos, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1. Época de aplicação e volume aplicado de composto sólido e líquido no pomar orgânico

| Época de aplicação | Volume de composto sólido (m ³ ha ⁻¹) |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|
| Agosto de 2001 | 143 |
| Outubro de 2001 | 64 |
| Fevereiro de 2002 | 43 |
| Fevereiro de 2004 | 85 |
| Novembro de 2005 | 50 |
| Maio de 2006 | 60 |
| Total | 445 |
| Época de aplicação | Volume de composto líquido (m ³ ha ⁻¹) |
| Junho de 2001 | 48 |
| Janeiro de 2002 | 48 |
| Janeiro de 2003 | 48 |
| Total | 144 |

O composto orgânico sólido e líquido (Apêndice 1) foi fornecido pela Cooperativa de Citricultores Ecológicos do Vale do Cai (Ecocitrus). As recomendações para essas quantidades aplicadas partiram dos técnicos da cooperativa (Petry, 2012). Em janeiro de 2006, o pomar recebeu uma aplicação foliar de adubo orgânico líquido para suprir a deficiência de nitrogênio das plantas, na dose de 1 litro de calda por planta (Petry, 2012). Todas as aplicações foram a lanço sem incorporação, sendo mantido na superfície do solo o composto (Figura 1).

Na entrelinha das plantas do pomar orgânico, foram cultivadas plantas de cobertura. Na primavera-verão 2002, foi cultivado milho (*Pennisetum americanum*). No outono-inverno de 2002 foram plantadas ervilhaca (*Vicia sativa*) e aveia preta (*Avena strigosa*). Na primavera-verão 2003, foi cultivada

abóbora (*Cucurbita moschata*) e milho (*Zea mays*). No outono-inverno de 2003, foi plantado o consórcio de ervilhaca, aveia preta e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) (Sartori et al., 2004). Em 2004 foram distribuídos resíduos de aguapés (*Eichornia crassipes*) e em 2005 foi plantada, por mudas, uma linha de mamona (*Ricinus communis*) intercalada com abóbora. A partir de 2006 no outono-inverno foi implantado consórcio ervilhaca com aveia preta, e na primavera-verão, feijão miúdo (*Vigna unguiculata*). O controle de plantas daninhas, pelo método da capina, foi feito na linha das plantas de citros para evitar a competição. Não foi realizada calagem na implantação do pomar (Petry, 2012).

Os tratamentos fitossanitários foram feitos de acordo com o manejo do sistema orgânico, sem a utilização de produtos sintéticos para o controle das pragas.

3.3 Manejo do pomar conduzido no sistema convencional

O manejo de adubação foi realizado de acordo com as recomendações técnicas da SBCS (2004), com uso de adubo granulado à base de NPK e calcário dolomítico comercial (PRNT 100%) como corretivo de acidez do solo. Antes do plantio das mudas, foi aplicado calcário dolomítico na área total do pomar, na dose de 6 t ha^{-1} . Após a distribuição do calcário foi incorporado com uma aração e uma gradagem. Cada cova recebeu uma dose de 500 gramas de fosfato natural de Arad, ao redor da cova foi distribuído cloreto de potássio na dose de 200 kg ha^{-1} .

No pomar convencional, o controle de plantas daninhas foi realizado com a utilização herbicida de ação total (glifosato) na totalidade da área, na linha e na entrelinha de plantas. Este pomar foi mantido sem cobertura na maior parte do tempo, sendo isso proposto pelos idealizadores do projeto para contrastar com o manejo do pomar orgânico. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a incidência de pragas e estágio fenológico das plantas, usando-se inseticidas e fungicidas.

A adubação de manutenção foi realizada com a fórmula 22.00.20 (NPK) na dose de $0,8 \text{ kg planta}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e dividido em duas aplicações, em maio e agosto de todos os anos. Entre os anos de 2001 até 2004, o adubo foi aplicado na projeção da copa das laranjeiras e, entre 2005 até 2008, foi feita em faixas,

sendo 1/3 na entre linha e 2/3 na projeção da copa. A partir de 2009, o adubo foi distribuído em toda a entre linha. Todos os anos foi aplicado calcário na dose de 3,6 kg planta⁻¹ ano⁻¹. A partir de 2011 a dose aumentou para 4,5 kg planta⁻¹ ano⁻¹ e a forma de aplicação foi a mesma do adubo. A partir de 2007, foram realizadas pulverizações foliares com micronutrientes nos meses de setembro e dezembro ou janeiro (Petry, 2012).

3.4 Delineamento experimental

Para fins de delineamento experimental, foram considerados os pomares cultivados no sistema orgânico e convencional como tratamentos principais. Além disso, com o objetivo de estudar a influência do tráfego de máquinas nos dois pomares, foram determinados três subtratamentos, sendo eles local de tráfego (TR), ou seja, onde passou a roda do trator todas as vezes que esse foi usado no manejo do pomar; local sem tráfego (ST), ou seja, onde o trator nunca passou que fica localizado no meio da entre linha das plantas e a projeção da copa da planta (LP), ou seja, onde se desenvolvem as raízes das plantas (Apêndice 2).

Buscando melhor entender os efeitos do tráfego dentro de cada pomar, os atributos de solo foram estudados em profundidade, constituindo os subsubtratamentos. Ainda, para servir como testemunha foi escolhida uma área de referencia não cultivada, localizada nas adjacências dos pomares.

3.5 Amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas em Março de 2012 nos subtratamentos de ambos os pomares e também na área de referencia (testemunha). Foram amostradas 6 profundidades (subsubtratamentos 0-0,05m; 0,05-0,10m; 0,10-0,15m; 0,15-0,20m; 0,20-0,30m e 0,30 a 0,40m) em cada subtratamento (ST, TR e LP) e realizadas 3 repetições em cada pomar. Para a testemunha foram realizadas 3 repetições na mesma trincheira e em seis profundidades. Para cada profundidade, foram coletadas amostras

deformadas e indeformadas para as diferentes determinações. Para realização das coletas, foram abertas trincheiras transversais às linhas de planta do pomar (Apêndice 3). As amostras indeformadas foram preparadas e acondicionadas com papel filme e as amostras deformadas foram colocadas em sacos plásticos, ambas foram levadas ao Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, para as respectivas determinações laboratoriais.

3.6 Determinações em laboratório

3.6.1 Curva de retenção de água

A curva de retenção de água do solo foi determinada seguindo a metodologia descrita por EMBRAPA (1997). As amostras indeformadas foram submetidas a diferentes tensões (6; 10; 30; 100; 300; 600 e 1.000 kPa), com o auxílio da mesa de tensão (até 10 kPa) e das câmaras de Richards (> 10 kPa). Os valores médios das repetições deram origem a uma curva de retenção de água para cada profundidade estudada, em cada um dos subtratamentos, bem como na testemunha.

3.6.2 Granulometria, densidade, macro, micro e porosidade total do solo

A granulometria do solo foi determinada em todos os subtratamentos e profundidades avaliadas conforme o método da pipeta, descrito por EMBRAPA (1997). As partículas de areia foram divididas em muito grossa (entre 2 e 1 mm), grossa (entre 1 e 0,5 mm), média (entre 0,5 e 0,25 mm), fina (entre 0,25 e 0,10 mm) e muito fina (entre 0,10 e 0,05 mm) conforme classificação de Cauduro & Dorfman (1986).

A densidade do solo foi determinada para cada profundidade a partir das amostras indeformadas de solo coletadas em anel volumétrico, com volume de 102,07 cm³ (5,7 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura) conforme metodologia descrita por Embrapa (1997).

$$DS = m_{ss}/V$$

sendo:

DS – Densidade do solo (gcm^{-3})

mss – Massa de solo seco em estufa à 105 °C (g)

V – Volume do cilindro (cm^{-3})

A porosidade total foi calculada a partir da umidade volumétrica da amostra saturada ($U_v = U_g * D_s$). A determinação da macroporosidade e da microporosidade foi realizada durante o processo de determinação da curva de retenção de água com a utilização da mesa de tensão e da câmara de Richards. A microporosidade foi determinada pela umidade volumétrica da amostra após a aplicação da tensão de 6 kPa e a macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

3.6.3 Ensaio de Proctor

O ensaio de Proctor foi executado conforme metodologia descrita em Klein (2008). Para o ensaio, foram coletados, aproximadamente, 25 kg de solo no campo, para cada subtratamento e nas camadas de 0-0,10m e de 0,10-0,20m de profundidade. As amostras foram secas ao ar, peneiradas (peneira de malha 4,75 mm) e acondicionadas em sacos plásticos. O ensaio foi executado conforme metodologia descrita por Klein (2008), conforme preconiza a Norma Brasileira 33 (ABNT).

3.6.4 Matéria orgânica e complexo sortivo do solo

As amostras deformadas foram secas ao ar e depois peneiradas, em peneira de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997). Uma fração de TFSA, aproximadamente 3 gramas de cada amostra, após moagem em gral de ágata ($\emptyset < 0,1 \text{ mm}$), foi enviada ao Laboratório de Manejo do Solo da UFRGS para a determinação do teor de carbono orgânico total do solo por combustão seca em analisador de carbono SHIMADZU TOC-V. O valor de COT obtido multiplicado por 1,724 resulta no teor de matéria orgânica do solo (MOS).

Amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solo da UFRGS para análise química de rotina. As determinações foram de argila, pH, fósforo (P), potássio (K), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), H + Al, capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0, saturação de bases e saturação de alumínio (Tedesco et al. 1995).

3.7 Avaliações no campo

3.7.1 Resistência mecânica do solo à penetração e teor de umidade

Nas amostras deformadas de solo, coletadas em cada subtratamento e repetição, foi determinada a umidade do solo no campo conforme a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

Nesses mesmos locais, foi avaliada a resistência mecânica do solo à penetração (RP), com a utilização de um penetrômetro digital. Esse aparelho mede e registra a profundidade e o esforço necessário para introduzir uma haste metálica no solo. As características construtivas do aparelho estão de acordo com a norma ASAE S313.3 (ASAE, 2004). Essa avaliação tem como objetivo detectar no perfil de solo camadas adensadas que possam afetar o crescimento das raízes das plantas. Para interpretar os dados, é fundamental determinar a umidade do solo no momento do ensaio que influencia diretamente os valores de resistência obtidos no campo. Para cada subtratamento, foram executados 20 leituras de RP no sentido do tráfego do trator, sendo com intervalos de 0,01 m até a profundidade de 0,40 m. Também foi traçada uma transecta transversal entre uma linha e outra de planta e a cada 0,10m foi realizada uma medição para detectar as zonas de compactação criadas com o tráfego das máquinas no pomar. Essas leituras foram feitas em linhas paralelas às trincheiras abertas para coleta das amostras de solo.

3.7.2 Infiltração de água no solo

A taxa de infiltração foi determinada através do método dos cilindros concêntricos, descrito por Cauduro e Dorfman (1986). As leituras do nível de água no cilindro interno foram efetuadas aos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 e 120 minutos após o início de cada teste. Foram realizadas três repetições para cada subtratamento. Com os dados obtidos nos ensaios, calculou-se a lâmina de água infiltrada, a taxa de infiltração instantânea e a taxa de infiltração acumulada.

3.8 Análise estatística dos dados

Todos os dados quantitativos dos pomares foram submetidos à análise estatística utilizando o programa SAS 9.0 (SAS institute). Foi realizada a análise de variância e, havendo diferença significativa, as médias de cada atributo foram comparadas pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade dos pomares

A produtividade anual dos pomares em estudo vem sendo mensurada desde sua implantação em 2001. Dados publicados por Petry (2012) demonstram que o pomar convencional produziu 82% a mais que o pomar orgânico no total acumulado desde que os pomares começaram a dar frutos. Somente depois do sexto ano de produção o pomar orgânico alcançou o convencional em produtividade (Apêndice 4). O mesmo pesquisador atribui essa diferença a dois fatores: ao manejo das plantas invasoras e o maior equilíbrio na fertilidade do solo no pomar convencional. No entanto, atributos físicos do solo podem estar relacionados e influenciando na produtividade dos pomares.

4.2 Granulometria do solo

O conhecimento da granulometria do solo em que se está trabalhando é o ponto de partida para o entendimento dos atributos físicos e das características químicas do solo. As proporções das frações areia, silte e argila para cada profundidade de coleta e em cada pomar estudado, bem como na área testemunha, estão dispostas na Tabela 2. O solo em que estão implantados os pomares está classificado como um Argissolo Vermelho distrófico espessarênico, cuja principal característica é a maior presença de areia no horizonte A, que ultrapassa os 100 cm de profundidade.

Tabela 2. Caracterização da granulometria do solo nos pomares convencional e orgânico, na testemunha e nas profundidades amostradas

| Profundidade (cm) | Convencional | | | Orgânico | | | Testemunha | | |
|----------------------|--------------|-------|--------|----------|-------|--------|------------|-------|--------|
| | Areia | Silte | Argila | Areia | Silte | Argila | Areia | Silte | Argila |
| 0-5 | 845 | 76 | 79 | 825 | 90 | 85 | 807 | 125 | 68 |
| 5-10 | 838 | 72 | 90 | 819 | 92 | 89 | 828 | 109 | 63 |
| 10-15 | 842 | 74 | 84 | 836 | 98 | 66 | 850 | 80 | 70 |
| 15-20 | 839 | 82 | 79 | 849 | 80 | 71 | 840 | 94 | 66 |
| 20-30 | 839 | 83 | 78 | 837 | 95 | 68 | 853 | 72 | 75 |
| 30-40 | 829 | 77 | 94 | 847 | 84 | 69 | 845 | 82 | 73 |

Os solos da região do vale do Rio Caí, mais precisamente no município de Montenegro, são de origem sedimentar e têm como principal característica a maior presença de areia em sua constituição granulométrica. Isso ocorre devido ao processo de lessivagem, que é a translocação das partículas de argila da camada superficial para a camada subsuperficial do solo, formando um horizonte B textural, com maior presença de argila. De acordo com a classificação do solo pelo triângulo textural, na profundidade de 0 a 40 cm, o solo de ambos os pomares está classificado como de textura areia franca.

Para melhor entendimento do comportamento dos solos arenosos, torna-se importante analisar separadamente a granulometria da fração areia. Quando um solo arenoso apresenta quantidade significativa de areia fina e muito fina, essas frações podem se comportar de forma similar ao silte. Embora não apresentando cargas de superfície que auxiliariam na retenção de nutrientes, a maior proporção de areia nas frações fina e muito fina apresenta uma característica física importante. Por apresentarem diâmetro menor, estas partículas se acomodam de tal maneira que acabam retendo maior quantidade de água pelo aumento na quantidade de poros capazes de armazenar água por ação capilar em relação a areia na fração mais grossa (Hillel, 2004). Essa maior retenção de água faz-se importante na dinâmica da água e dos nutrientes disponíveis para as plantas neste tipo de solo. Na Tabela 3, consta a granulometria da fração areia, que apresenta grande parte das partículas na forma de areia fina e muito fina, com mais de 50% das partículas de areia nessas duas frações.

Tabela 3. Distribuição granulométrica da fração areia para os pomares orgânico e convencional e para a testemunha nas profundidades amostradas

| Profundidade (cm) | M grossa | Grossa | Média | Fina | M fina |
|-------------------|----------|--------|-------|------|--------|
| Convencional % | | | | | |
| 0-5 | 0,5 | 7,5 | 39,0 | 42,5 | 10,5 |
| 5-10 | 0,3 | 6,0 | 37,1 | 45,6 | 11,0 |
| 10-15 | 0,2 | 6,2 | 39,8 | 43,3 | 10,5 |
| 15-20 | 0,2 | 5,5 | 38,6 | 45,4 | 10,3 |
| 20-30 | 0,2 | 5,7 | 41,8 | 42,6 | 9,7 |
| 30-40 | 0,2 | 5,5 | 38,1 | 44,6 | 11,6 |
| Orgânico % | | | | | |
| 0-5 | 2,0 | 9,8 | 38,7 | 41,0 | 8,4 |
| 5-10 | 0,7 | 9,0 | 40,7 | 40,5 | 9,1 |
| 10-15 | 0,6 | 8,2 | 41,2 | 41,0 | 9,1 |
| 15-20 | 0,5 | 8,0 | 41,3 | 41,4 | 8,7 |
| 20-30 | 0,6 | 7,4 | 40,2 | 42,4 | 9,4 |
| 30-40 | 0,5 | 7,4 | 40,2 | 43,0 | 8,8 |
| Testemunha % | | | | | |
| 0-5 | 1,4 | 8,9 | 42,0 | 38,8 | 8,8 |
| 5-10 | 1,0 | 8,5 | 43,1 | 39,7 | 7,6 |
| 10-15 | 0,7 | 8,1 | 41,2 | 41,5 | 8,4 |
| 15-20 | 0,4 | 7,1 | 42,5 | 41,9 | 8,2 |
| 20-30 | 0,4 | 7,0 | 41,7 | 42,2 | 8,7 |
| 30-40 | 0,4 | 7,0 | 41,4 | 42,3 | 8,9 |

4.3 Matéria orgânica do solo

Para entender a evolução do manejo do solo nos pomares cultivados sob manejos convencional e orgânico é importante observar a variação nos teores de matéria orgânica do solo (MOS) nesses sistemas de cultivo. Com base na análise de variância (Apêndice 5), houve diferença entre os manejos e profundidade, com interação destes fatores (Tabela 4).

Houve diferença significativa no teor de MOS entre manejos e em profundidade até a camada de 15 cm (Tabela 4). Observa-se que o pomar manejado no sistema orgânico apresenta maior concentração de MOS nas profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm e 10 a 15 cm, comparado ao pomar manejado no sistema convencional. Isso se deve as altas doses de compostos

orgânicos aplicada em superfície ao longo do manejo da adubação do pomar orgânico (Tabela 1).

Tabela 4. Teor de matéria orgânica do solo nos pomares convencional e orgânico, na testemunha e em cada camada amostrada

| Profundidade (cm) | Convencional¹ | Orgânico¹ % | Testemunha² |
|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------|
| 0-5 | 1,98 Ba | 7,81 Aa | 2,71 |
| 5-10 | 1,03 Bb | 2,35 Ab | 1,42 |
| 10-15 | 0,72 Bbc | 1,01 Ac | 0,72 |
| 15-20 | 0,56 Ac | 0,67 Ac | 0,39 |
| 20-30 | 0,45 Ac | 0,58 Ac | 0,33 |
| 30-40 | 0,42 Ac | 0,30 Ac | 0,34 |

Valores com letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). (1) média de 9 amostras e (2) média de 3 amostras.

Quando observados os valores de MOS nas camadas superficiais (Tabela 4), comparando-se com a testemunha, nota-se que na camada de 0 a 10 cm, para o pomar sob manejo orgânico, houve acréscimo de MOS e nessa mesma camada para o convencional ocorreu redução. Isso se deve, principalmente, ao manejo das plantas invasoras no sistema de manejo convencional com menor presença de plantas nas entre linhas, e para o sistema de manejo orgânico, a manutenção de plantas nas entrelinhas e as altas doses aplicadas em superfície dos compostos orgânicos explicam essa maior concentração de MOS em superfície.

Ao analisar os valores de MOS em profundidade para cada pomar observa-se que há diferenças para esta variável até os 10 cm de profundidade no pomar sob manejo convencional e também até os 10 cm no pomar sob manejo orgânico. O que chama a atenção é que na camada superficial de 0 a 5 cm do pomar orgânico há sete vezes mais MOS que na camada de 10 a 15 cm do mesmo pomar.

A maior concentração de matéria orgânica nas camadas superficiais no solo do pomar orgânico pode trazer benefícios para o crescimento das raízes das plantas. Dentre as consequências destacam-se a maior disponibilidade de água em solos arenosos com elevado teor de matéria orgânica e a

possibilidade de maior disponibilidade de nutrientes para as plantas nessas camadas ricas em material orgânico.

As altas doses de compostos orgânicos adicionadas ao solo (Tabela 1) fizeram com que o material orgânico acumulasse em superfície, formando uma camada que varia de 5 a 10 cm de espessura. A evidência está na coloração escura próxima à superfície do solo (Figura 1) e comprovada com os teores de matéria orgânica nas camadas superficiais (Tabela 4).



Figura 1. Perfil de amostragem no solo do pomar orgânico de laranja 'Valencia'. Montenegro-RS 2012.

A camada superficial rica em material orgânico, proveniente da adição de compostos orgânicos, pode e altera rapidamente as características do solo no pomar orgânico, principalmente no que se diz respeito aos atributos físicos do solo. Devido a isso, a amostragem até 20 cm foi realizada fracionando as camadas iniciais de 5 em 5 cm, buscando o melhor entendimento das mudanças nos atributos físicos do solo ocasionadas com a formação da camada orgânica superficial.

4.4 Densidade do solo

Entre os atributos físicos do solo que se alteram com a adição de altas doses de material orgânico, a densidade do solo (DS) é um dos mais importantes. Como pode-se observar no Apêndice 6, a DS variou em

profundidade, condição de tráfego e manejo. Quando analisada a interação entre fatores, observa-se interação entre profundidade e manejo.

Na Tabela 5, observam-se os valores de DS para a interação profundidade/manejo. Houve diferença significativa entre manejos para as camadas de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm, onde houve diminuição na DS do solo do pomar orgânico nessas profundidades. Isso se deve à maior quantidade de composto orgânico adicionado no pomar orgânico (Tabela 1) que alterou esse atributo do solo na camada superficial de 0 a 10 cm (Tabela 5).

Tabela 5. Valores médios de densidade do solo para cada profundidade amostrada no pomar convencional, orgânico e na área testemunha

| Profundidade (cm) | Convencional ¹ | Orgânico ¹ | Testemunha ² |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Mg m ⁻³ | | |
| 0-5 | 1,44 Ab | 0,98 Bc | 1,60 |
| 5-10 | 1,60 Aa | 1,44 Bb | 1,68 |
| 10-15 | 1,61 Aa | 1,58 Aa | 1,68 |
| 15-20 | 1,58 Aa | 1,59 Aa | 1,74 |
| 20-30 | 1,64 Aa | 1,66 Aa | 1,79 |
| 30-40 | 1,63 Aa | 1,65 Aa | 1,77 |

Valores com letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). (1) média de 9 amostras e (2) média de 3 amostras.

Entretanto, chama à atenção o valor de DS na camada de 5 a 10 cm do pomar orgânico que é igual ao da camada de 0 a 5 cm do pomar convencional. Isso pode ser devido ao fato de que a aplicação dos compostos orgânicos originou uma camada superficial orgânica, no pomar com manejo orgânico. Os valores de MOS da Tabela 4 e a ilustração da Figura 1 vão ao encontro disso, reforçando esta hipótese.

Pietrzacka (2009) e Santos (2013) obtiveram resultados semelhantes para DS e MO em estudos realizados no mesmo tipo de solo e em pomar orgânico na região de Montenegro-RS. Os autores citam a adição de composto orgânico no pomar com manejo orgânico como fator principal para a diferença na DS e para os teores de MOS na camada superficial.

Os valores de DS para o pomar convencional diferem das demais somente na camada de 0 a 5 cm e isso se explica pelos valores observados nessa camada para o subtratamento LP (Figura 2). Para o pomar orgânico, os

valores de DS na camada de 0 a 5 cm e de 5 a 10 cm são menores que nas demais e, nesse caso, é devida à maior quantidade de material orgânico que foi aplicado em superfície nesse pomar (Tabela 1).

Analisando os valores médios de DS para os locais com tráfego de máquinas (TR), sem tráfego de máquinas (ST) e linha de planta (LP) (Tabela 6), observa-se que o tráfego de máquinas resultou em aumento na DS. Fidalzki (2004) encontrou resultados semelhantes para esta variável e ressaltou que estes resultados são considerados um padrão característico em pomares com mecanização no sistema de produção. Devido ao trânsito de máquinas sempre no mesmo local durante os vários anos de condução dos pomares e, muitas vezes, este tráfego ocorrendo sob condições de umidade excessiva, acarreta em aumento na DS nesses locais.

Tabela 6. Valores médios de densidade do solo (Mg m^{-3}) nos pomares, para as camadas amostradas e condições de tráfego (LP, TR e ST)

| Condição de tráfego | Média DS* |
|----------------------------|------------------|
| Linha de planta (LP) | 1,48 a |
| Com tráfego (TR) | 1,58 b |
| Sem tráfego (ST) | 1,53 ab |

Valores com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

*Média de 36 amostras (2 pomares x 3 repetições x 6 profundidades).

Na Figura 2 estão apresentados os valores de DS em profundidade para os pomares convencional e orgânico, nos subtratamentos locais de tráfego. Para o pomar convencional, nota-se que DS é maior na camada de 0 a 10 cm onde ocorre o tráfego do trator, tendo menor variação nas camadas abaixo desta, devido à menor quantidade de material orgânico, com o efeito do tráfego não passando dos 15 cm. Além disso, observa-se que há um acréscimo na DS para as profundidades de 5 a 10 e de 10 a 15 cm na região onde ocorre o tráfego do trator, mostrando o efeito dos rodados nas camadas subsuperficiais.

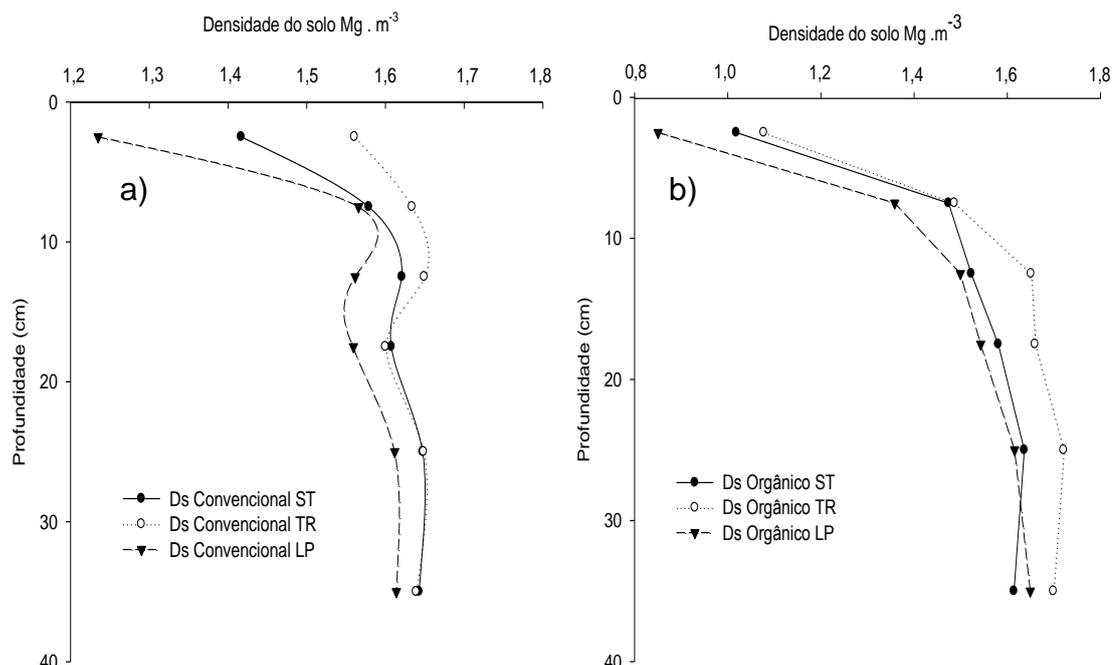


Figura 2. Densidade do solo nos pomares convencional (a) e orgânico (b) para cada condição de tráfego (ST, TR e LP) e nas profundidades amostradas.

A Figura 2 também traz os valores de DS para os subtratamentos no pomar orgânico. A camada orgânica superficial formada pela adição dos compostos orgânicos não sofreu alteração na DS com o tráfego contínuo ao longo dos anos de condução do pomar. Mas houve aumento de DS na camada abaixo dos 10 cm para o local com tráfego nesse pomar, assim como ocorreu no local trafegado do pomar convencional. Isso se deve à menor quantidade de MOS nas camadas abaixo de 10 cm, que, conseqüentemente, têm um menor amortecimento das cargas. A energia de compactação provocada pelos pneus do trator não afetou a DS na camada superficial, mas foi transferida para as camadas adjacentes, aumentando a DS em profundidade. Isso provavelmente seja devido ao fato de haver tráfego em alta intensidade nos pomares, em função da necessidade de manejo das plantas espontâneas em cada área, bem como quando do momento da colheita.

A maior densidade subsuperficial em ambos os pomares é provocada pelo tráfego intenso de máquinas sempre no mesmo local. Segundo (Reichert et al. 2010), a pressão aplicada na superfície distribui-se no perfil do solo de forma radial, e a profundidade de dissipação dessa pressão é inversamente proporcional à resistência do solo. Esses mesmos autores ainda ressaltam um aspecto que deve ser considerado: quanto maior a largura dos pneus maior a

profundidade de efeito do tráfego no solo. O pneu do trator utilizado nos tratamentos culturais nos pomares em estudo tem largura menor do que os usados em lavouras anuais, 40 cm. Essa medida de pneus é característica de tratores utilizados na fruticultura. Segundo Hillel (1982), o efeito da compactação se dá em profundidades entre $1/3$ e $1/5$ da largura do pneu, neste caso então ocorreria na camada de 8 a 13 cm. No entanto, a presença da MOS na camada superficial não permitiu a alteração na DS devido ao tráfego nesse local do pomar orgânico e essa deveria dissipar a energia do tráfego, evitando que a mesma chegasse nas camadas subsuperficiais, o que não aconteceu. Isso pode ter ocorrido devido à elasticidade do material orgânico que se deforma no momento da aplicação da carga e após passar o trator, retorna as condições anteriores ao tráfego.

Para melhor entender o efeito do tráfego sobre a variável DS foi realizada a determinação da densidade relativa (DR) em ambos os pomares, assim como na testemunha. Para chegar a esse valor, é necessário determinar os valores de densidade máxima (DS máx) que o solo pode atingir. No Apêndice 7 estão os valores da análise de variância para a variável DS Max. Houve interação entre a variável profundidade versus manejo.

No mesmo ensaio foi determinada a umidade ótima necessária para que o solo atinja a máxima compactação (U_g ótima). No Apêndice 8 estão os resultados da análise de variância para a variável U_g ótima. Houve interação entre as variáveis para profundidade *versus* manejo.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de DS máx e U_g ótima nas profundidades 0 a 10 e 10 a 20 cm para os pomares sob manejo convencional e orgânico, bem como para a testemunha.

Observa-se que a U_g ótima para compactação foi maior para o pomar orgânico para ambas as profundidades. Isso se deve à maior concentração de material orgânico nessas camadas, que aumenta a capacidade de retenção de água pelo solo. Essa maior umidade para a máxima compactação implica em mudança no comportamento dos solos quando do tráfego de máquinas com o solo úmido, podendo, em alguns casos, para um mesmo dia de colheita, em ambos os pomares, estar trafegando num pomar e causando compactação e no outro não.

Tabela 7. Umidade gravimétrica ótima para máxima compactação (Ug ótima) e densidade máxima do solo (DS máx) em cada profundidade, para os pomares convencional, orgânico e na área testemunha

| Profundidade (cm) | Convencional | | Orgânico | | Testemunha | |
|----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | Ug ótima | Ds máx | Ug ótima | Ds máx | Ug ótima | Ds máx |
| | g g ⁻¹ | Mg m ⁻³ | g g ⁻¹ | Mg m ⁻³ | g g ⁻¹ | Mg m ⁻³ |
| 0 a 10 | 0,10Bb | 1,77Ab | 0,16Aa | 1,41Bb | 0,12 | 1,76 |
| 10 a 20 | 0,09Bb | 1,84Aa | 0,11Ab | 1,83Aa | 0,10 | 1,85 |

Valores com letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

A presença do material orgânico em superfície também faz com que a DS máx seja menor na camada de 0 a 10 cm do pomar orgânico. Segundo Krzic et al. (2003), independentemente da textura do solo, incremento de 1% de carbono orgânico reduz em cerca de 11% a máxima densidade. Ainda, segundo Klein (2008), o teor de matéria orgânica no solo reduz a densidade máxima do solo, devido ao efeito positivo na estabilidade estrutural do solo e a baixa densidade do material orgânico. Como o solo dos pomares em estudo é arenoso, com presença de estrutura fraca nesse tipo de solo, o efeito da MOS na densidade máxima se dá pelas altas doses do composto aplicado e a menor densidade desse material presente nas camadas superficiais. Outro efeito importante que pode atuar nesse caso é a elasticidade desse material orgânico, que faz com que, no momento da aplicação da força, ocorra uma redução na aproximação das partículas minerais do solo e, assim, reduzindo a densidade máxima que este solo pode atingir.

A Tabela 8 traz os dados de DR nos tratamentos (convencional e orgânico) e subtratamentos (condições de tráfego). Observa-se que a DR para o tratamento com tráfego no pomar convencional na profundidade de 0 a 10 cm, chega ao valor de 0,90, enquanto que os tratamentos sem tráfego e linha de planta estão bem abaixo desse valor.

Tabela 8. Densidade máxima do solo (DS máx), densidade real do solo (DS) e densidade relativa (DR) nos pomares convencional, orgânico e na área testemunha, para cada subtratamento (ST, TR e LP) e nas profundidades de 0 a 10 e de 10 a 20 cm

| Tratamentos | DS máx | DS | DR |
|-----------------------|--------------------|------|------|
| | Mg m ⁻³ | | |
| Convencional ST 0-10 | 1,80 | 1,50 | 0,83 |
| Convencional TR 0-10 | 1,78 | 1,60 | 0,90 |
| Convencional LP 0-10 | 1,78 | 1,40 | 0,79 |
| Convencional ST 10-20 | 1,85 | 1,61 | 0,87 |
| Convencional TR 10-20 | 1,85 | 1,61 | 0,87 |
| Convencional LP 10-20 | 1,84 | 1,56 | 0,85 |
| Orgânico ST 0-10 | 1,41 | 1,25 | 0,88 |
| Orgânico TR 0-10 | 1,46 | 1,28 | 0,88 |
| Orgânico LP 0-10 | 1,40 | 1,10 | 0,79 |
| Orgânico ST 10-20 | 1,82 | 1,53 | 0,84 |
| Orgânico TR 10-20 | 1,86 | 1,67 | 0,90 |
| Orgânico LP 10-20 | 1,82 | 1,52 | 0,84 |
| Testemunha 0-10 | 1,76 | 1,64 | 0,93 |
| Testemunha 10-20 | 1,85 | 1,71 | 0,92 |

Isso ocorre devido o maior valor de DS nessa camada para este tratamento, sendo que a densidade máxima não varia entre os subtratamentos. Na profundidade de 10 a 20 cm, há pouca diferença para a DR entre os subtratamentos para o pomar convencional. Santos (2013) encontrou resultados semelhantes para DR em pomar de citros manejado sob sistema de cultivo orgânico, para o mesmo tipo de solo, na região de Montenegro-RS.

No pomar orgânico, na camada de 0 a 10 cm, a DR foi menor no subtratamento LP (Tabela 8). Para os demais subtratamentos os valores ficam próximos aos encontrados no pomar convencional, porém menores que 0,90. Nesse mesmo pomar, para a camada de 10 a 20 cm, observa-se que no subtratamento TR a DR é maior e chega ao valor de 0,90 e isso se deve ao aumento da DS em profundidade no local onde ocorre o tráfego do trator.

Segundo Klein (2008), valores de DR acima de 0,90 em plantio direto indicam condição extremamente preocupante e pode afetar o crescimento das raízes das plantas, principalmente, se houver períodos de estiagem. Liepic et al. (1991) concluíram que, para um solo com 0,20 kg kg⁻¹ de argila, o crescimento das plantas e o rendimento de grãos foram reduzidos quando a DR excedeu os valores 0,91. Klein (2006), utilizando a metodologia do intervalo

hídrico ótimo (IHO), encontrou para um Latossolo Vermelho DR ótima de 0,715 e DR crítica de 0,88. Essa metodologia de análise é relativamente nova e ainda não há valores definidos para afirmar qual a DR limitante para cada tipo de solo e cada cultura, especialmente para culturas perenes.

No entanto, pode-se observar que nos locais onde há tráfego do trator os valores de DR podem estar no limite crítico para o crescimento das plantas. Isso indica que o efeito do tráfego pode influenciar no crescimento radicular das plantas de citros, principalmente em períodos de estresse hídrico.

4.5 Resistência mecânica do solo à penetração

Para ajudar a entender o comportamento físico do solo nos pomares em estudo, foi realizada a avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RP). Na Figura 3 pode-se observar os valores de RP em profundidade e em cada subtratamento, bem como, a umidade gravimétrica no momento do ensaio nos pomares convencional e orgânico. Com base nos dados, observa-se que o pomar convencional, em comparação ao pomar orgânico, apresenta maiores valores de RP nas camadas superficiais (0 – 20 cm), para os subtratamentos ST e LP. O teor de umidade das camadas superficiais do pomar orgânico é maior que no pomar convencional e isso reduz a RP nessas camadas. Quando observada a RP para o subtratamento TR, não ocorre essa diferença entre os manejos dos pomares e isso se deve ao tráfego do trator nesse local. O tráfego de máquinas aumentou a RP na camada superficial (5 a 15 cm) em ambos os pomares. Muller et al. (2011) encontraram resultados semelhantes para o mesmo tipo de solo.

Outro fato importante a ser observado é que a partir da profundidade de 30 cm, em todos os subtratamentos, a RP é maior no pomar orgânico. Esse comportamento se deve ao fato da menor quantidade de água em profundidade neste pomar no momento do ensaio.

Essas diferenças podem ser mais bem visualizadas nas Figuras 4 e 5, onde é apresentada a RP quando feita uma transecta entre uma linha e outra de plantas nos pomares em estudo. Nessas figuras fica claro que no pomar orgânico (Figura 5), as camadas superficiais das regiões ST e LP apresentam menor RP que no pomar convencional e isso se deve à presença da camada

orgânica formada a partir da adição de material orgânico nesse pomar. Já na área onde trafega o trator essa diferença é menor, provando que o tráfego afetou a RP em superfície em ambos os pomares. Interessante observar que para a variável DS no pomar orgânico para a região trafegada não houve alteração significativa, mas aumentou a RP nesses locais, mesmo sem o aumento da DS, e isso provavelmente se deve à baixa densidade do material orgânico que forma essa camada superficial do pomar orgânico. O que prova isso são os menores valores de densidade máxima observados na camada de 0 a 10 cm, quando realizado o ensaio de Proctor nesse pomar (Tabela 8).

Outro fator importante observado é que nos locais trafegados (TR) os valores de RP menores que 2.000 kPa estão numa profundidade menor que nos outros subtratamentos (Figura 3). No pomar orgânico, a RP só ultrapassa os 2.000 kPa em profundidades maiores que 15 cm, devido à formação da camada orgânica com a adição do composto orgânico neste pomar, enquanto que no pomar convencional logo abaixo dos 10 cm de profundidade, exceto para o local de tráfego do trator onde o efeito se dá na camada mais superficial, entre 5 e 10 cm. Silva et al. (2004) mencionam que valores de resistência mecânica a penetração acima de 2.000 kPa limitam o crescimento das plantas.

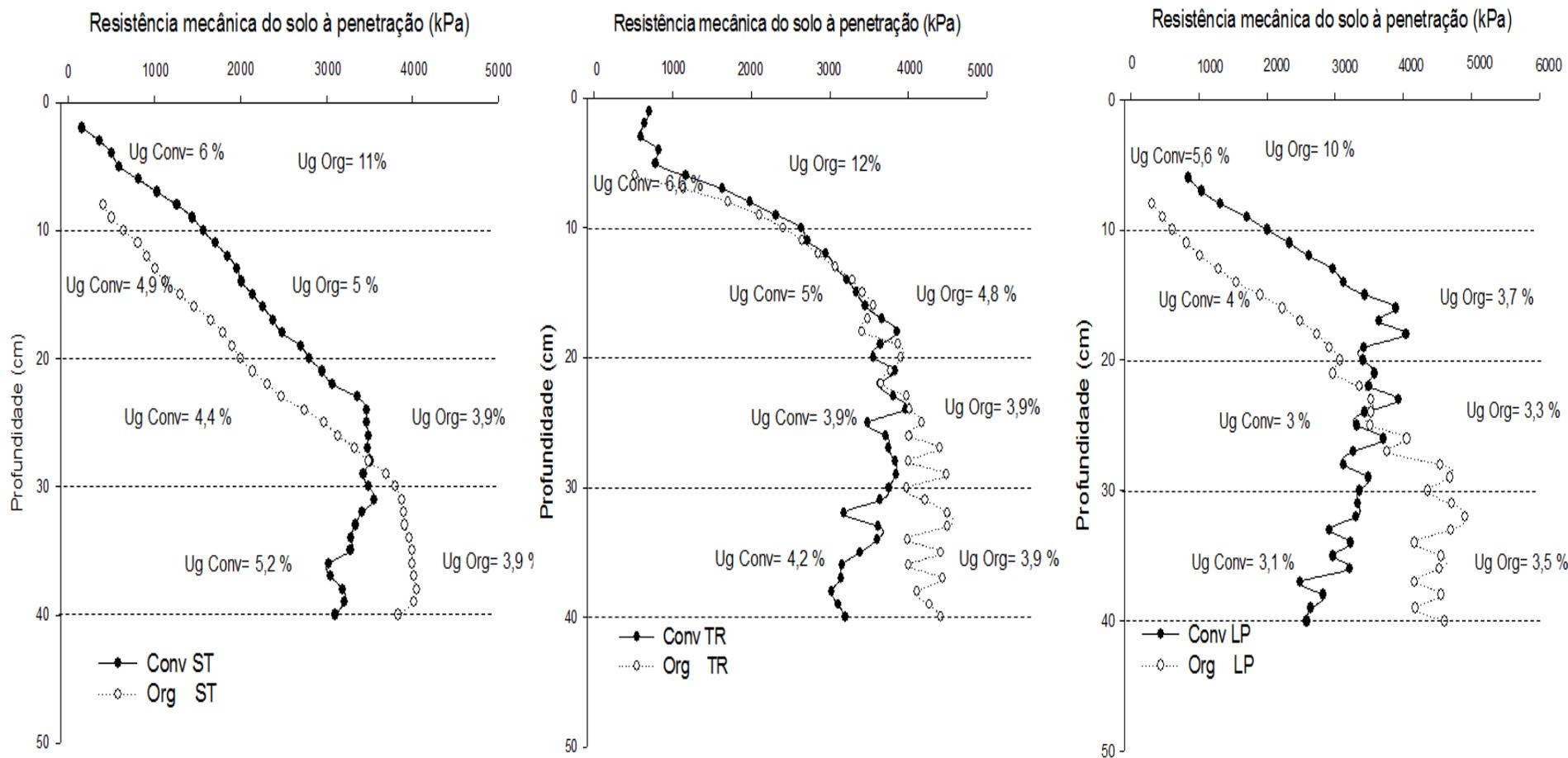


Figura 3. Resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo nos subtratamentos para os pomares convencional e orgânico, nas profundidades em estudo (ST, TR e LP).

Quando observadas as transectas (Figuras 4 e 5) dos dois pomares, observa-se que os maiores valores de RP estão nas zonas de tráfego do trator e são superficiais no pomar convencional e que esse comportamento é semelhante no pomar orgânico. Ainda pode-se observar que a camada superficial do pomar orgânico apresenta menor valor de RP.

Quando observadas as profundidades maiores que 20 cm, os valores de RP são mais altos e isso é devido a baixa umidade do solo no momento do ensaio (Figura 3). As variações de RP observadas para LP e TR são devidas à influência das raízes. Quanto mais próximo da planta, maior é a influência destas, que podem se chocar com a haste do penetrômetro ou também à maior presença de raízes absorvendo água, deixando o solo mais seco no momento da coleta.

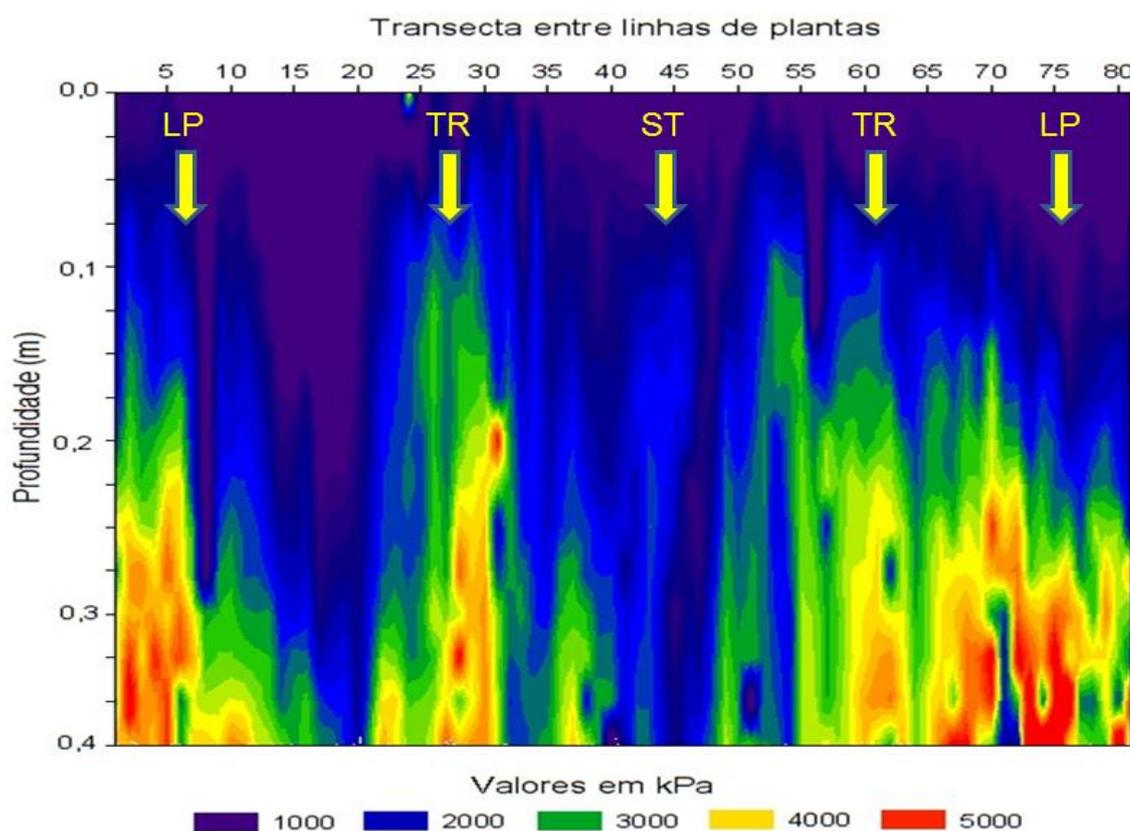


Figura 4. Perfil de resistência do solo à penetração no pomar convencional.

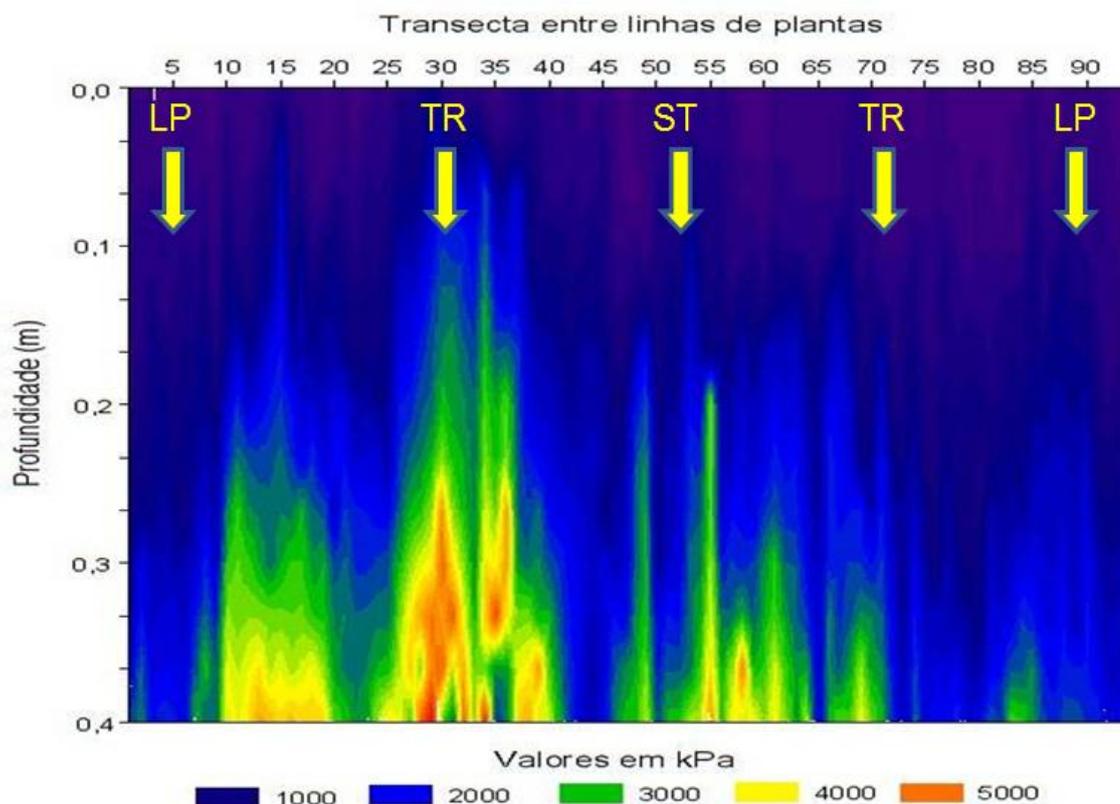


Figura 5. Perfil de resistência do solo à penetração no pomar orgânico.

4.6 Porosidade do solo

A porosidade do solo ou porosidade total (PT) representa a fração do solo em volume não ocupada por sólidos. A determinação da porosidade total constitui-se na mais simples caracterização do sistema poroso (Ferreira, 2010).

No Apêndice 9 estão apresentados os valores a análise de variância para a porosidade do solo. Houve diferenças em profundidade, condição de tráfego e manejo, havendo interação entre a variável condição de tráfego e manejo, bem como entre profundidade e manejo.

Os Valores de PT são apresentados nas Tabelas 9 e 10. Na Tabela 9, observa-se a diferença da porosidade total entre os sistemas de manejo, bem como em profundidade. Observa-se que para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm os valores de PT são superiores no pomar orgânico frente aos encontrados no pomar convencional, não havendo diferença para as camadas adjacentes a essas. Em ambos os pomares nota-se uma maior PT em relação à área testemunha (Tabela 9). Esses maiores valores de PT no pomar orgânico se

devem ao aporte de material orgânico devido à adição dos compostos orgânicos em superfície neste pomar. O material orgânico tem maior área superficial específica e aumenta a porosidade do solo, principalmente com maior presença de microporos (Silva, 2010).

Quando analisados os valores de PT em profundidade, para cada sistema de manejo, no convencional a PT é maior na profundidade de 0 a 5 cm, não diferindo das demais profundidades. No pomar sob sistema de manejo orgânico, a camada de 0 a 5 cm difere das demais, demonstrando o efeito benéfico para esta variável da adição dos compostos orgânicos na superfície do solo nesse pomar.

Tabela 9. Valores médios de porosidade total para os sistemas de manejo (Conv e Org), na área testemunha e nas profundidades amostradas

| Profundidade (cm) | Convencional ¹ | Orgânico ¹ m ³ m ⁻³ | Testemunha ² |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------|
| 0-5 | 0,47 Ba | 0,63 Aa | 0,41 |
| 5-10 | 0,39 Bb | 0,48 Ab | 0,33 |
| 10-15 | 0,39 Bb | 0,44 Abc | 0,33 |
| 15-20 | 0,39 Ab | 0,42 Acd | 0,31 |
| 20-30 | 0,38 Ab | 0,39 Acd | 0,29 |
| 30-40 | 0,37 Ab | 0,38 Ad | 0,28 |

Valores com letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). (1) média de 9 amostras e (2) média de 3 amostras.

Quando avaliada a PT nos subtratamentos, a mesma mostrou-se diferente para os locais onde há tráfego do trator, como se pode observar na Tabela 10. Houve uma redução na PT, em ambos os pomares, nos locais onde ocorre o tráfego do trator, sendo que esse mesmo comportamento foi observado para a variável DS nesses locais (Tabela 10 e Figura 6). Locais de maior densidade tendem a apresentar menor PT e, com isso, os valores observados de PT corroboram com os valores encontrados para a DS discutidos anteriormente.

Tabela 10. Valores médios de porosidade total nos pomares convencional e orgânico, para as camadas em estudo e em cada subtratamento de condição de tráfego (LP, TR e ST)

| Condição de tráfego | Porosidade total (m^3m^{-3})* |
|----------------------|-------------------------------------------------|
| Linha de Planta (LP) | 0,46 a |
| Com Tráfego (TR) | 0,39 b |
| Sem Tráfego (ST) | 0,42 ab |

Valores com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). *PT média de 36 amostras (2 pomares x 3 repetições x 6 profundidades)

A Figura 6 demonstra a variação da porosidade total em profundidade no solo dos dois sistemas de manejo. Para o sistema convencional, o efeito do tráfego na PT é maior na camada superficial (0 a 10 cm), enquanto que para as camadas subjacentes não há diferença entre os subtratamentos.

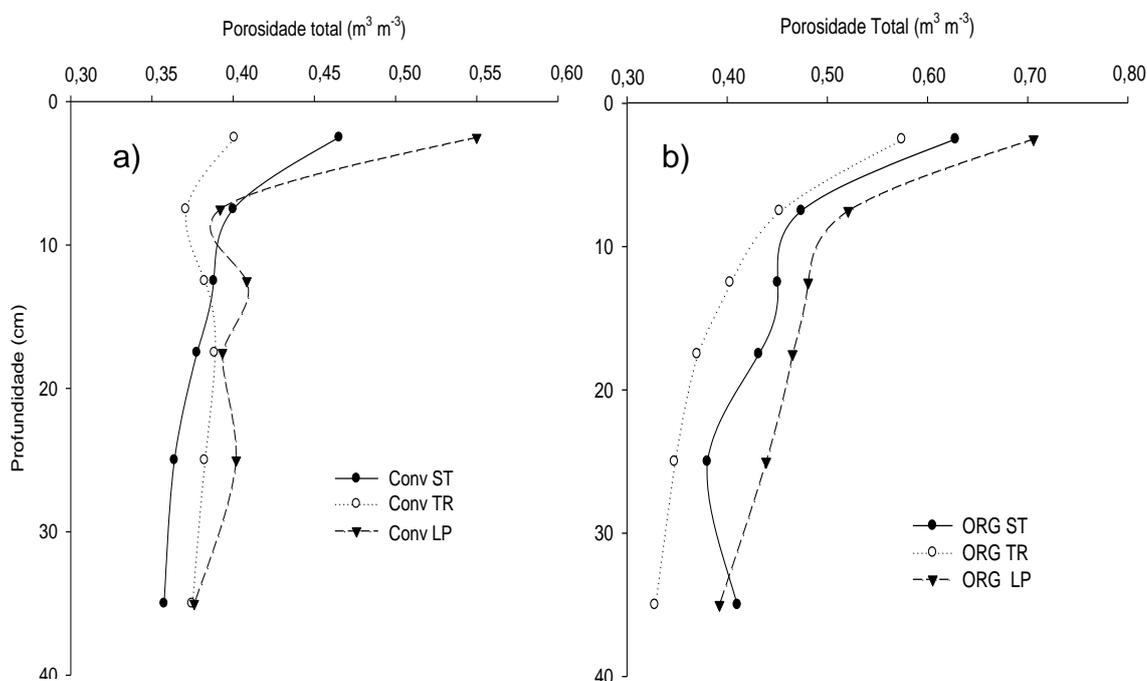


Figura 6. Valores médios de porosidade total para os sistemas de manejo convencional (a) e orgânico (b), em cada subtratamento e nas profundidades amostradas.

Para o sistema orgânico, a PT foi maior em superfície diminuindo logo que aumenta a profundidade e isso está relacionado com o menor conteúdo de MOS em profundidade. Porém, o efeito dos subtratamentos na PT da camada superficial é menor que o observado no pomar convencional. Cabe ressaltar que no pomar orgânico, no subtratamento TR, a PT na camada de 0 a 5 cm é de 58% e no pomar convencional para o mesmo subtratamento a PT é de 40%. Na camada de 5 a 10 cm do pomar convencional, a PT do subtratamento TR é

menor que 40%. Segundo Demattê e Vitti (1992), os solos para cultivo com citros devem possuir valores de PT entre 40 e 55%. Observa-se que em ambos os pomares, para as profundidades abaixo dos 10 cm, principalmente no subtratamento TR, os valores de PT estão muito próximo do limite inferior mencionado pelos autores.

4.7 Macro e microporosidade do solo

A porosidade total do solo é dividida em macroporos e microporos. Os macroporos são responsáveis pela aeração e drenagem do solo, enquanto que os microporos são responsáveis pela retenção de água no solo. No Apêndice 10 estão apresentados os valores da análise de variância para a macroporosidade do solo dos pomares em estudo. Houve diferença significativa para profundidade e condição de tráfego, bem como para as interações entre condição de tráfego e manejo, também entre profundidade e condição de tráfego.

A Tabela 11 mostra os valores de macroporosidade para a condição de tráfego e sistemas de manejo. Houve redução da macroporosidade nos locais com tráfego do trator em ambos os sistemas de manejo. Em ambos os pomares os valores de macroporosidade são maiores na LP do que nos demais subtratamentos e isso se deve, provavelmente, à maior presença de raízes nesses locais.

Tabela 11. Valores médios* de macroporosidade do solo para os subtratamentos (LP, TR e ST) em ambos os pomares nas camadas amostradas

| Condição de tráfego | MP Convencional | MP Orgânico |
|----------------------|-----------------------------------|-------------|
| | (m ³ m ⁻³) | |
| Linha de planta (LP) | 0,24 a | 0,26 a |
| Com tráfego (TR) | 0,19 b | 0,18 b |
| Sem tráfego (ST) | 0,20 b | 0,23 a |

Valores com letras iguais, minúsculas na coluna, não diferem significativamente, teste de Duncan ($p < 0,05$). * Média de 18 amostras.

Na Figura 7, são apresentados os valores de macroporosidade do solo, em profundidade, para o pomar convencional e orgânico para cada subtratamento. Nota-se que para o local trafegado no pomar convencional há

uma redução na macroporosidade na camada superficial (0 a 5 cm), não havendo diferença entre os subtratamentos abaixo dos 7,5 cm de profundidade.

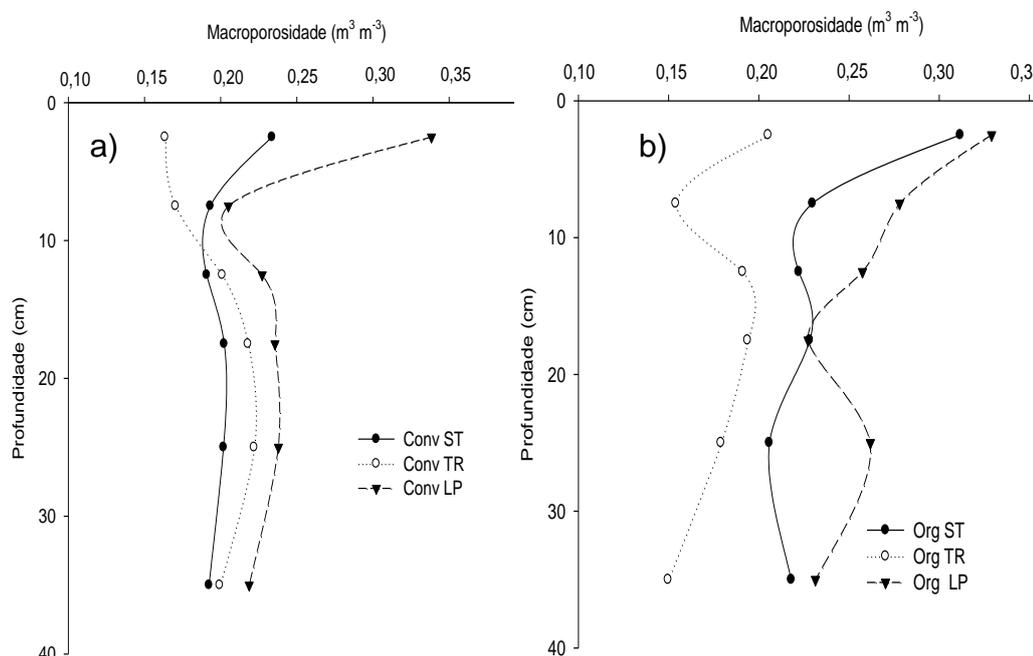


Figura 7. Macroporosidade do solo para os sistemas de manejo convencional (a) e orgânico (b), para os subtratamentos (ST, TR e LP) e nas profundidades amostradas.

A diferença nos valores de macroporosidade para os locais trafegados pelo trator no sistema orgânico, apresentados na Tabela 11, fica claro quando observada a Figura 7. Na camada superficial (0 a 10 cm), na região onde ocorre o tráfego de trator, a macroporosidade é bem menor do que os outros subtratamentos para o mesmo pomar orgânico. Nas camadas adjacentes as diferenças são menores, mas continuam a existir, como pode ser visualizado na Figura 7. Segundo Reichert et al. (2010), a compactação do solo é uma deformação plástica e irreversível, e geralmente reduz os poros de maior diâmetro, desde que a pressão aplicada seja superior à capacidade de suporte de carga desse solo.

Interessante observar que não houve diferença para a variável DS para essas camadas (Figura 2), ou seja, devido à alta quantidade de material orgânico presente em superfície do solo nesse pomar, a DS na camada de 0 a 10 cm não foi afetada pelo tráfego de máquinas. Soane (1990) afirma que o acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo pode atenuar as cargas aplicadas pelas máquinas agrícolas, devido a sua elasticidade e ao aumento da

área de contato efetiva entre o solo e os rodados. Porém, a macroporosidade (Figura 7) e a RP (Figura 3) mostraram que houve influência do tráfego de máquinas no pomar orgânico. Muller et al. (2011), em estudo realizado no mesmo tipo de solo, afirmam que o tráfego de máquinas em pomar de citros aumentou a DS e reduziu a macroporosidade do solo nos locais trafegados.

No Apêndice 11 estão apresentados os valores da análise de variância para microporosidade do solo. Para essa variável, houve diferenças entre as variáveis profundidade e manejo, bem como houve interação entre estas duas variáveis. Para as demais variáveis não foram observadas diferenças significativas.

Em relação ao manejo dos pomares, como pode-se observar na Tabela 12, o sistema orgânico apresenta maior valor de microporosidade que o sistema convencional e isso se deve à maior quantidade de matéria orgânica no solo do pomar orgânico, já que as quantidade de areia fina e muito fina não variam entre os pomares (Tabela 3). Segundo Klein (2008), os microporos são os responsáveis pela retenção e distribuição de água no solo.

Tabela 12. Valores médios de microporosidade do solo nas camadas estudadas para os tratamentos orgânico e convencional

| Manejo | Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)* |
|--------------|-----------------------------------|
| Orgânico | 0,23 a |
| Convencional | 0,18 b |

Valores com letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

* Microporosidade, média de 36 amostras (2 pomares x 3 repetições x 6 profundidades).

Essas diferenças ficam evidentes na Tabela 13, onde a maior quantidade de microporos no pomar orgânico está na camada de 0 a 5 cm de profundidade. Nas camadas abaixo de 5 cm, as diferenças continuam significativas até os 20 cm de profundidade. Se observados os valores de MOS apresentados na Tabela 4, a presença de maior quantidade desse material ocorre até a profundidade de 15 cm.

Logo, no pomar orgânico os valores de microporosidade são maiores em relação à testemunha, fato não observado para o pomar convencional. Isso se explica pelos valores de MOS do pomar convencional serem semelhantes aos valores encontrados na testemunha (Tabela 4).

Tabela 13. Valores médios de microporosidade do solo para os pomares convencional e orgânico, na área testemunha e nas profundidades amostradas

| Profundidade (cm) | Convencional ¹ | Orgânico ¹ | Testemunha ² |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | m ³ m ⁻³ | | |
| 0-5 | 0,23 Ba | 0,35 Aa | 0,28 |
| 5-10 | 0,20 Bb | 0,26 Ab | 0,22 |
| 10-15 | 0,19 Bb | 0,22 Ac | 0,19 |
| 15-20 | 0,17 Bc | 0,21 Acd | 0,18 |
| 20-30 | 0,16 Ac | 0,18 Ad | 0,15 |
| 30-40 | 0,17 Ac | 0,17 Ad | 0,15 |

Valores com letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). (1) média de 9 amostras e (2) média de 3 amostras.

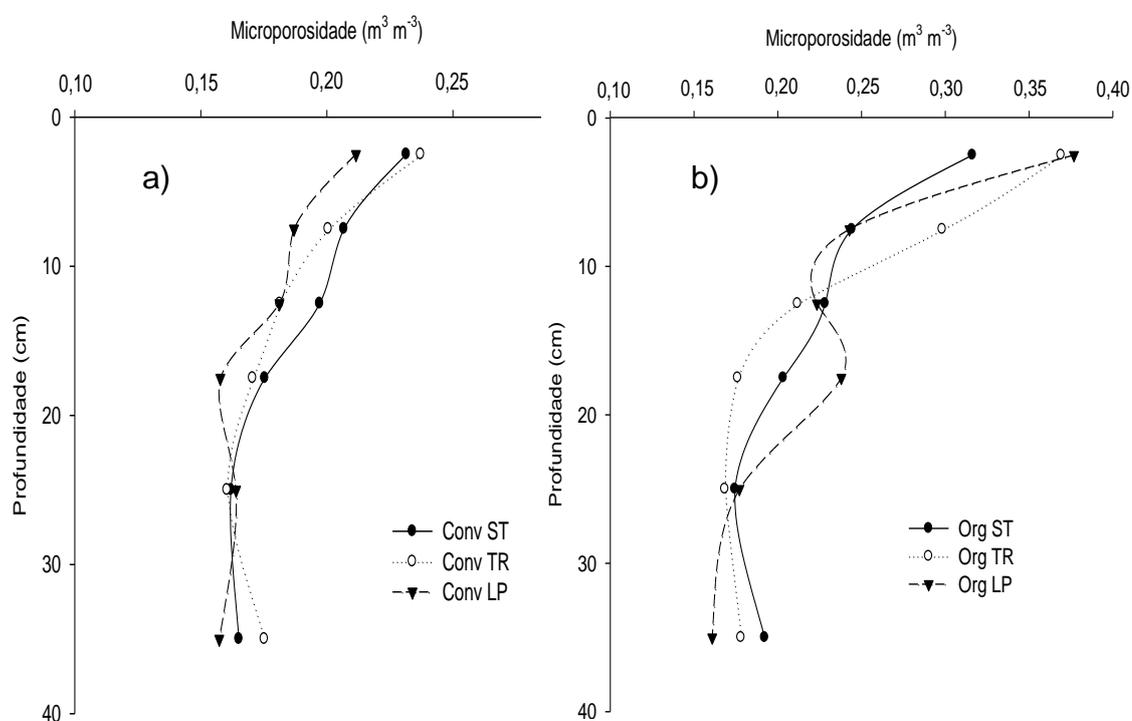


Figura 8. Microporosidade do solo nos sistemas de manejo convencional (a) e orgânico (b), em cada subtratamento (ST, TR e LP) e nas profundidades amostradas.

A Figura 8 demonstra que não houve influência do tráfego do trator na microporosidade do solo. O que está influenciando nessa variável é a MOS (já discutida acima), que no pomar orgânico tem uma maior concentração nas camadas superficiais. Segundo Klein (2008) a compactação do solo diminui a porosidade total, mas reduz principalmente os macroporos, dificilmente afetando a microporosidade.

4.8 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo é uma variável de suma importância na avaliação das condições físicas do solo, pois o armazenamento e a disponibilidade de água se dão em função do arranjo poroso do solo. Nas Figuras 9 e 10, constam as curvas que representam a taxa constante de infiltração de água nos solo dos pomares e em cada subtratamento de condição de tráfego. Pode-se observar que o subtratamento TR apresenta os menores valores de infiltração de água e os dados da Tabela 14 comprovam isso.

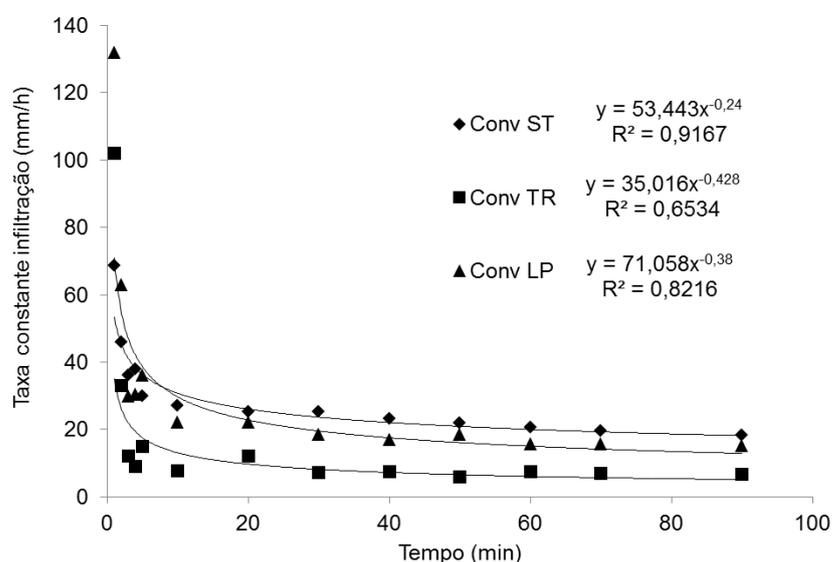


Figura 9. Curvas de infiltração de água no solo do pomar convencional.

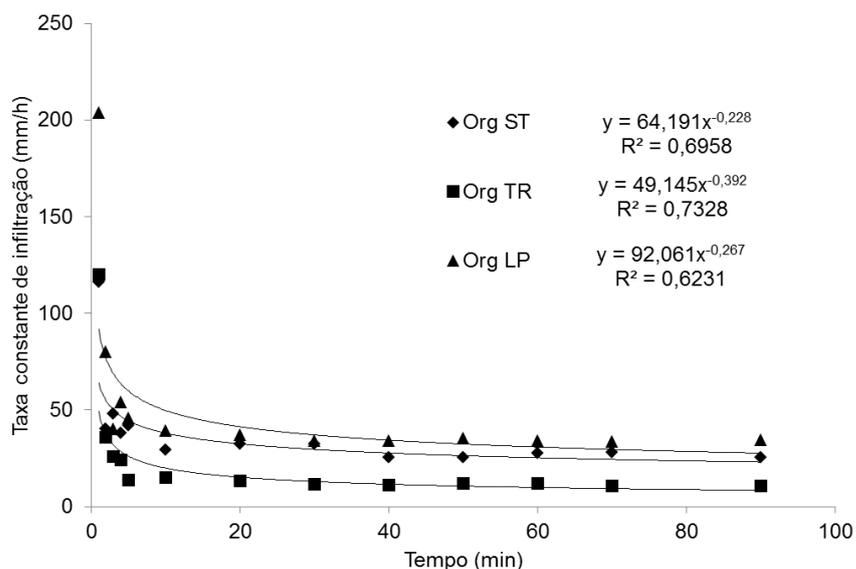


Figura 10. Curvas de infiltração de água no solo do pomar orgânico.

Para a variável taxa constante de infiltração de água no solo (TCI), determinada em cada pomar, a análise de variância (Apêndice 12) mostrou que houve diferença entre o manejo dos pomares e a condição de tráfego, mas não houve interação significativa entre essas duas condições.

Na Tabela 14, podem ser visualizadas essas diferenças, onde a TCI para a região onde ocorre o tráfego do trator é menor em ambos os pomares, embora não foi observada diferença significativa para a interação entre sistema de manejo e a condição trafegada (TR). O menor valor de TCI observada está no pomar convencional para o subtratamento TR (Tabela 14). Esse mesmo comportamento é observado para o pomar orgânico nesse subtratamento, vindo ao encontro dos menores valores obtidos para macroporosidade do solo nesses subtratamentos (Tabela 11). A redução nos valores de macroporosidade acarreta numa menor TCI no solo, já que os macroporos são os responsáveis pelo fluxo de ar e de água no solo. Quando comparados os subtratamentos entre os pomares, o único que diferiu foi o LP no pomar orgânico, que aumentou significativamente a TCI nesse local.

Tabela 14. Taxa constante de infiltração de água no solo em cada pomar e na testemunha, bem como nos subtratamentos de condição de tráfego (ST, TR e LP)

| Tratamento | ST | TR | LP |
|--------------|--------------------|--------|---------|
| | mm h ⁻¹ | | |
| Convencional | 33,4Aa | 16,0Ba | 29,6ABb |
| Orgânico | 36,6Ba | 23,7Ca | 51,4Aa |
| Testemunha | 22,00 | | |

Valores com letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).

Na mesma tabela, o que mais chama atenção é a maior TCI para a subtratamento LP no pomar orgânico e isso pode ser atribuído à maior presença de raízes na linha de planta do pomar orgânico. Essa presença de raízes no subtratamento linha de planta foi observado durante as coletas de amostras de solo e, provavelmente, isso se dá devido à menor competição com as plantas daninhas nesse local, já que as plantas de citros, pelo sombreamento, impedem o desenvolvimento de plantas espontâneas. Essa dinâmica reflete em maior disponibilidade de água e de nutrientes para a cultura, que acaba concentrando a maioria das raízes nessa faixa do pomar.

Avilan et al. (1980) afirmam que, em solos profundos, por exemplo, Argissolo espessarênico, situados em regiões de escassez de chuva, as raízes aprofundam-se mais e geralmente se mantêm nos limites da projeção da copa.

4.9 Curva de retenção de água no solo

A capacidade de retenção de água no solo é governada pelo potencial mátrico de água no solo. A água disponível para as plantas está entre a umidade do solo na capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

Nos dois pomares (Figuras 11 e 12), nas pressões maiores que 10 kPa, os volumes de água armazenados são menores que $0,20 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ salvo, a camada de 0 a 5 cm do pomar orgânico que mantém volumes maiores de água armazenada para maiores pressões aplicadas nas amostras.

Na Figura 11, estão dispostas as curvas de retenção de água no pomar convencional nos subtratamentos em estudo e em cada profundidade. Pode-se observar que na camada de 0 a 5 cm, para a condição de saturação, há um maior volume de água no solo. A medida que aumenta a pressão a que é submetida a amostra, ocorre redução no volume de água retido no solo, o que é um padrão característico para esse ensaio.

Quando comparados os subtratamentos no pomar convencional, a variação é muito pequena, somente a camada de 0 a 5 cm do subtratamento TR apresenta menor volume de água, na condição de saturação, e isso se deve a menor porosidade total nessa camada para esse subtratamento (Figura 6). A curva de retenção de água no solo do pomar convencional varia pouco em ambos os subtratamentos e profundidades. Isso se deve à homogeneidade da textura do solo, à menor variação na porosidade do solo e à baixa concentração de MOS nesse solo.

Na Figura 12, constam as curvas de retenção de água para o solo do pomar orgânico. Em comparação ao pomar convencional, há uma maior retenção de água no pomar orgânico, principalmente nas camadas superficiais. Esse comportamento é observado em ambos os subtratamentos desse pomar e na camada de 0 a 5 cm em todas as pressões aplicadas a amostra. Essas diferenças são devidas à maior concentração de MOS na camada de 0 a 5 cm do pomar orgânico (Tabela 4) e também a maior microporosidade nessa

camada (Tabela 13), que é consequência do aumento da MOS no solo desse pomar (Tabela 4). No subtratamento TR os volumes de água retidos no solo quando saturado são inferiores aos valores encontrados nos subtratamentos ST e LP e isso se deve a menor porosidade total nesse subtratamento (Tabela 10).

Comparando o volume de água armazenado na camada de 0 a 5 cm dos dois pomares no subtratamento ST, em condição de saturação e para o volume de solo em um hectare, o pomar orgânico acumula um volume de água de 80.000 litros a mais que na mesma camada do pomar convencional. Na condição da amostra submetida à pressão de 1000 kPa, condição de estresse hídrico, no solo do pomar orgânico ficam armazenados 25.000 litros a mais de água que no pomar convencional.

Com esses dados e analisando as curvas de retenção de água no solo de ambos os pomares, conclui-se que no pomar orgânico há uma maior disponibilidade de água na camada superficial do solo, em comparação ao solo do pomar convencional, e isso se deve ao aumento de MOS nesse pomar com a adição do composto orgânico em superfície. Essa dinâmica da água no solo no pomar orgânico pode proporcionar melhores condições para o crescimento das plantas, tanto as cítricas, como as espontâneas que são comuns nos pomares orgânicos.

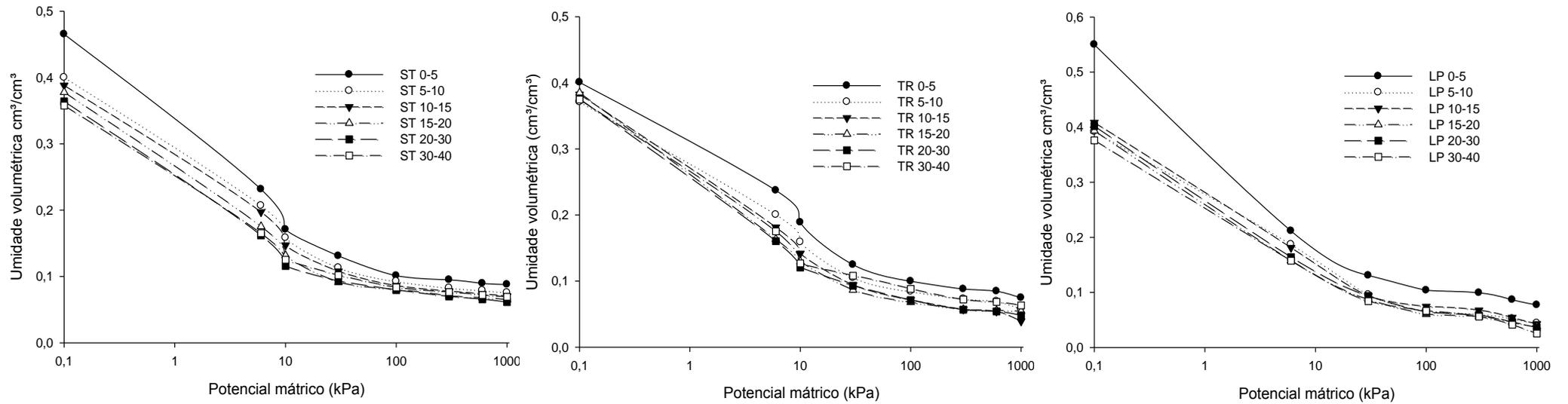


Figura 11. Curvas de retenção de água no solo para o pomar convencional em cada subtratamento de condição de tráfego e profundidades.

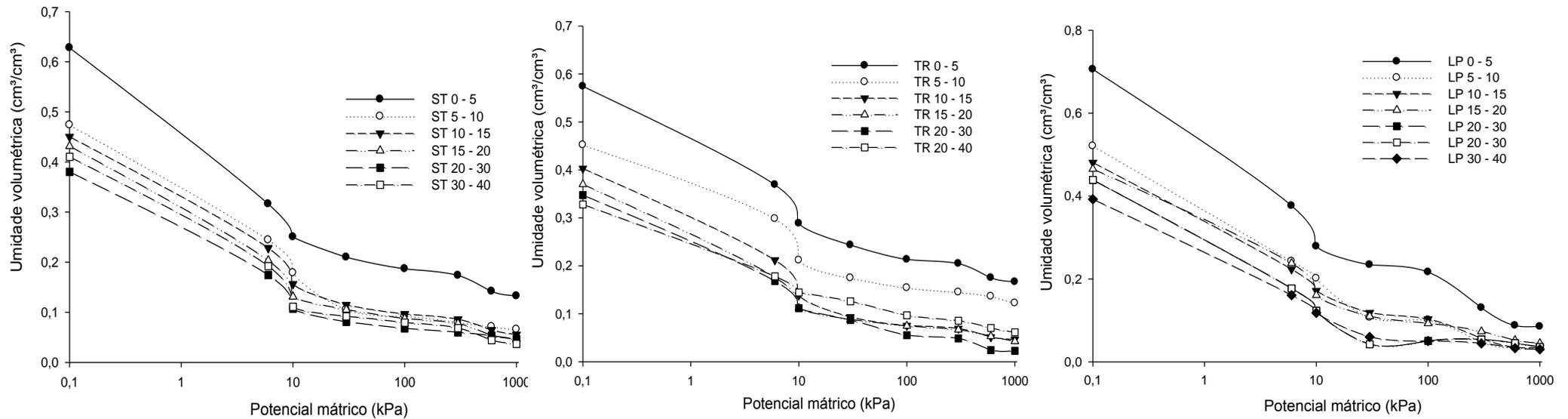


Figura 12. Curvas de retenção de água no solo para o pomar orgânico em cada subtratamento de condição de tráfego e profundidades.

4.10 Disponibilidade de nutrientes

Um dos fatores mais importantes na determinação da produtividade é a disponibilidade de nutrientes às plantas. Na Tabela 15, constam os resultados da análise do solo dos pomares convencional, orgânico e para a testemunha. O pH do solo do pomar orgânico é alto em todas as profundidades amostradas e saturação por alumínio é zero, enquanto que, no pomar convencional, abaixo dos 10 cm de profundidade, o valor é considerado baixo e abaixo dos 20 cm é considerado muito baixo com saturação por alumínio alta. O pomar orgânico está com saturação de bases alta na camada de 0 a 20 cm e média nas demais camadas. O pomar convencional apresenta saturação de bases muito baixa em todas as camadas abaixo dos 10 cm de profundidade e isso se deve, provavelmente, à aplicação dos fertilizantes em superfície.

O Ca é considerado baixo no pomar convencional para as camadas abaixo de 10 cm e alto em todas as camadas amostradas do pomar orgânico. Os teores de P no solo são considerados alto e muito alto em ambos os pomares, sendo que no pomar orgânico na camada de 0 a 10 cm e de 30 a 40 cm os valores são maiores que 100 mg dm^{-3} . Os teores de K são médios nos dois pomares, exceto no pomar orgânico, que na camada de 0 a 5 está com teores altos para este elemento e isto se deve a maior MOS presente nesta camada do pomar orgânico, que promove um aumento na CTC e, conseqüentemente, maior retenção dos elementos K e Ca nesta camada do pomar orgânico.

Em relação à testemunha, o pomar convencional apresenta maior saturação de bases na camada de 0 a 10 cm e nessa camada a saturação por alumínio é zero. Abaixo dos 10 cm de profundidade, os teores de nutrientes no solo no pomar convencional é muito semelhante à testemunha.

Com os valores apresentados na Tabela 14, pode-se afirmar que o solo do pomar orgânico tem um maior teor de nutrientes do que o pomar convencional. No entanto, isso não resultou em maior produtividade ao longo do período de avaliação desta (Apêndice 4).

Tabela 15. Resultados da análise química de rotina para o solo dos pomares orgânico, convencional e na testemunha, amostras coletadas em Março de 2012

| Tratamentos | Profundidade | Argila % | pH (água) | P mg dm ⁻³ | K mg dm ⁻³ | ----- | | | CTC | Sat Bases % | Sat Al |
|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|-----|------|------|----------------|--------|
| | | | | | | Ca | Mg | H+Al | | | |
| | | | | | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | |
| Convencional | 0-5 | 10 | 6,5 | 58,0 | 69,3 | 7,2 | 1,4 | 1,1 | 19,2 | 89,0 | 0,0 |
| | 5-10 | 10 | 5,7 | 38,7 | 89,7 | 2,5 | 0,9 | 1,7 | 18,3 | 67,3 | 0,0 |
| | 10-15 | 10 | 5,3 | 39,7 | 75,3 | 1,3 | 0,3 | 2,2 | 16,4 | 44,0 | 6,8 |
| | 15-20 | 10 | 5,1 | 44,7 | 62,3 | 0,9 | 0,3 | 2,2 | 15,4 | 36,7 | 11,0 |
| | 20-30 | 11 | 4,8 | 52,3 | 53,3 | 0,5 | 0,2 | 2,7 | 15,3 | 22,7 | 27,4 |
| | 30-40 | 11 | 4,8 | 56,7 | 50,7 | 0,5 | 0,2 | 2,8 | 15,5 | 21,3 | 28,2 |
| Orgânico | 0-5 | 11 | 6,7 | >100 | 169,0 | 23,3 | 1,7 | 1,3 | 31,1 | 94,7 | 0,0 |
| | 5-10 | 11 | 6,8 | >100 | 69,7 | 11,6 | 0,7 | 1,0 | 15,3 | 92,7 | 0,0 |
| | 10-15 | 9,3 | 6,7 | 57,0 | 44,0 | 6,3 | 0,5 | 1,2 | 13,3 | 85,7 | 0,0 |
| | 15-20 | 9 | 6,7 | 60,0 | 27,0 | 4,3 | 0,4 | 1,1 | 10,9 | 80,7 | 0,0 |
| | 20-30 | 10,7 | 6,5 | 85,0 | 26,0 | 4,1 | 0,4 | 1,3 | 12,5 | 77,3 | 0,0 |
| | 30-40 | 11,7 | 6,7 | >100 | 24,3 | 2,8 | 0,4 | 1,3 | 7,4 | 72,0 | 0,0 |
| Testemunha | 0-5 | 9,7 | 5,2 | 43,0 | 87,3 | 2,4 | 0,6 | 3,4 | 18,6 | 46,7 | 12,6 |
| | 5-10 | 10,3 | 5,0 | 36,0 | 50,7 | 1,6 | 0,4 | 3,7 | 13,5 | 35,7 | 19,4 |
| | 10-15 | 10,3 | 5,2 | 49,7 | 39,7 | 1,6 | 0,3 | 2,8 | 13,7 | 40,3 | 18,1 |
| | 15-20 | 10,0 | 5,4 | 60,0 | 27,7 | 1,2 | 0,2 | 2,4 | 13,3 | 39,0 | 10,6 |
| | 20-30 | 10,7 | 5,3 | 72,0 | 26,7 | 1,2 | 0,2 | 2,8 | 14,7 | 35,7 | 13,5 |
| | 30-40 | 19,7 | 5,4 | 71,3 | 27,0 | 1,2 | 0,2 | 2,6 | 15,6 | 37,0 | 11,0 |

5. CONCLUSÕES

- A aplicação dos compostos orgânicos em superfície no pomar manejado sob sistema orgânico origina uma camada orgânica superficial com 5 a 10 cm de espessura.

- O solo do pomar sob manejo orgânico apresenta maior porosidade total, maior microporosidade e maior retenção de água na camada superficial rica em material orgânico, essa camada ainda apresenta menor DS.

- O tráfego de máquinas altera os parâmetros físicos em ambos os pomares, principalmente a DS, a RP, a macroporosidade e a infiltração de água no solo.

- A infiltração e a disponibilidade de água, bem como, de macronutrientes é maior na camada superficial do pomar orgânico.

- A menor produtividade do pomar orgânico não foi consequência da alteração dos parâmetros físicos do solo devido ao tráfego de máquinas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, observou-se que a aplicação dos compostos orgânicos na superfície do solo do pomar orgânico foi fator preponderante para a dinâmica dos parâmetros físicos avaliados. Da forma que foi conduzida adubação orgânica nesse pomar, após 11 anos de manejo, pode-se dizer que a interferência humana foi primordial para a formação de uma camada superficial (0 – 10 cm) orgânica neste solo, que resultou em diferenças significativas na maioria dos atributos físicos para esta camada. Além disso, os parâmetros químicos avaliados apresentaram mudanças em profundidade.

Com o presente trabalho objetivou-se fazer um diagnóstico das formas de manejo orgânico e convencional em pomares de citros na região de Montenegro, no que tange atributos físicos do solo. Para uma avaliação mais ampla teriam que ser abordados os demais fatores que interferem na cultura dos citros, por exemplo, o manejo de plantas daninhas, o controle de pragas, balanço nutricional das plantas e uma série de outros fatores que envolvem a produção de um pomar, principalmente, quando manejado no sistema orgânico. No entanto, inúmeros trabalhos vêm sendo realizados na região de Montenegro com essa cultura, abordando estes e outros fatores que interferem na produção. O presente trabalho vem a somar aos já existentes, com informações importantes e auxiliares, para que os pesquisadores, técnicos e citricultores tomem as melhores decisões sobre o manejo, a condução dos seus pomares de citros e a própria caracterização de sistemas orgânicos de produção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLI, I. et al. Influencia da subsolagem e adubação verde no sistema radicular de citros em um latotssolo vermelho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2003. 1 CD-ROM.

ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA, 1999. p. 57-87.

AGE/MAPA - ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA/MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Brasil projeções do agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. Brasília, 2012. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: dia 13 de jan. 2013.

ASAE – AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Soil cone penetrometer**: ASAE S313.3. Saint Joseph, 2004.

AVILAN, L. et al. Distribución del sistema radicular de las cítricas em algunossuelos de Venezuela. **FruitsD`OutreMér**, Paris, v. 41, n. 11, p. 655-668, 1980.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da estação experimental da UFRGS (e região de abrangência)**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 77 p.

BONINE, D. P.; JOÃO, P. L. **Estudo da cadeia produtiva do citros no Vale do Caí-RS**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2002. 74 p. (Informativo da EMATER/RS: Série realidade rural, 29).

BORGES, A. L. et al. **Cultivo orgânico de fruteiras tropicais: Manejo do solo e da cultura**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 12 p. (Circular técnica, 64).

BRASIL. Lei N 10.831 de 23 de Dezembro de 2003. Agricultura orgânica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 24 dez. 2003. Seção 1, p. 8.

BRASIL. Instrução normativa nº 46, de 06 de Outubro de 2011. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 07 out. 2011. Seção 1, p. 4-8.

CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI: IPH-UFRGS, 1986. 216 p.

DEMATTÊ, J. L.; VITTI, G. C. Alguns aspectos relacionados ao manejo de solos para citrus. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS, 2., 1992, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 67-99.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. CNPS, 1997. 212 p.

FAO. FAOSTAT. [Database results]. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: Agosto de 2013.

Ferreira, M. F. Caracterização Física do Solo. In: LIER, Q. de J. van. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SACAPIM, C. A. Especificação vertical e horizontal dos indicadores de qualidade para um Latossolo Vermelho cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 9-19, 2007.

FIDALSKI, J. **Propriedades físico-hídricas de um Argissolo Vermelho distrófico latossólico em diferentes sistemas de manejo das entre-linhas de citros**. 2004. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2004.

FIGUEIREDO MATOS, E. H. S. **Cultivo de laranja**. Brasília: Centro de apoio ao desenvolvimento tecnológico da Universidade de Brasília (CDT/UNB), 2007. 23 p. (Dossiê técnico).

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001. 653 p.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soiland Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 122-145, 2005.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. Oxford, EUA: Elsevier Science, 2004.

HOMMA, S. K. **Efeito do manejo alternativo sobre a descompactação do solo, fungos micorrízicos arbusculares nativos e produção em pomar convencional de targor Murcott**. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

IBGE. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro, 2006.

IBGE. **Produção agrícola municipal 2011**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: dia 10 jan. 2013.

KAWAKAMI, J. **Produtos orgânicos**. [S.l.: S.n.], 2010. 38 p. (Serie de cadernos técnicos da agenda parlamentar do CREA-PR).

KLEIN, V. A. Densidade relativa – um indicador de qualidade física de um latossolo vermelho. **Revista Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, p. 26-32, 2006.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 208 p.

KÖEPENN, W. **Climatologia**: com um estúdio de los climas de latierra. Ciudad de Mexico: Fundo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

KOLLER, O. C. Adubação de pomares de citros. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE CITRICULTURA DO RS, 12., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2005.

KOLLER, O. C. **Citricultura – laranja, limão e tangerina**. Porto Alegre: Editora Rigel, 1994. 446 p.

KRZIC, M. et al. **Relative mensure of bulk density to characterize compaction of forest soils caused by harvest**. Vancouver: UBC, 2003. 45 p. (Final report, R2003-0219).

LI, Y. X.; TULLBERG, J.N.; FREEBAIRN, D.M. Well traffic and tillage effects on runoff and crop yeld. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 97, n. 2, p. 282 – 292, 2007.

LIEPIC, J. et al. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 307-317, 1991.

LIER, Q. de J. van. Disponibilidade de Água às Plantas. In: LIER, Q. de J. van. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

MADGE, D. **Organic citrus: a grower's manual**. Barton: Rural Industries Researches and Development Corporation (RIRDC), 2009. Disponível em <<http://www.rirdc.com.au>>. Acesso em: 20 de abril. 2013.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Manejo da Fertilidade do Solo. In: MATTOS JUNIOR, et al. **Lima ácida Thaiti**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003. Cap. 4, p. 67-80.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valencia' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 11, p. 29-34, 1999.

MORTON, A.; PROEBST, D. **Organic citrus resource guide**. Nova Zelândia: Soil and Health Association of New Zealand Inc. and Bio Dynamic Association in New Zealand Inc, 2003. Disponível em: < www.organicnz.org >. Acesso em: Agosto de 2013.

MULLER, J. et al. Atributos físicos e químicos de um Argissolo vermelho, em pomar orgânico de citros com manejo da vegetação nas entrelinhas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 33, n. 4, p. 1127-1134, 2011.

NEVES, M. F. **O retrato da citricultura brasileira**. Ribeirão Preto: FEA-USP, 2010. Disponível em: <<http://www.citrusbr.com>>. Acesso em: 10 de jan. 2013.

OLIVEIRA, R. P. de et al. **Produção orgânica de citros no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado 2010. 295 p.

PANZENHAGEM, N. V. **A produção orgânica de citros no Vale do Rio Cai/RS**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PEDROTTI, A. et al. Resistencia mecânica a penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 521-529, 2001.

PEDROTTI, A. et al. Evaluation of bulk density of Albaqualf soil under different tillage systems using the volumetric ring and computerized tomography methods. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1-2, p. 115-123, 2005.

PETRY, H. B. **Sistemas de cultivo orgânico e convencional de laranjeiras "Valência" em Montenegro-RS**. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PIAMONTE, R. Indicadores de sustentabilidad em agroecosistemas. **Hoja a Hoja (Maella)**, Assunción, v. 5, n. 9, p. 8-11, 1985.

PIETRZACKA, R. **Caracterização física e química de um Argissolo em área de citricultura orgânica com diferentes manejos da cobertura vegetal do solo**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Ed.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. p. 265-280.

REICHERT, J. M. et al. Mecânica do solo. In: LIER, Q. de J. van. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

SARTORI, I. A. et al. Caracterização e comparação de sistemas de cultivo orgânico e convencional de laranjeiras 'Valência'. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 10, n. 1-2, p. 145-152, 2004.

SBCS (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo). **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS – Nucleo Regional Sul, 2004. 394 p.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLANT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras**: um sistema alternativo. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72 p.

SILVA, A. P. et al. Indicadores da Qualidade Física do Solo. In: LIER, Q. de J. van. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air filled-porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba-SP, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.

SILVA, C. R. da. **Evapotranspiração e desenvolvimento de limeira ácida 'Tahiti' na ausência e presença de estresse hídrico**. 2005. 85 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, n. 1-2, p. 179-201, 1990.

SOUZA, Z. M. de et al. Raiz sob pressão. **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas, p. 12-14, 2011.

STENZEL, M. C. S. et al. Crescimento vegetativo de plantas cítricas no norte e noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 27 n. 3, p. 412-417, 2005.

STRECK, E. V. et al. As principais classes de solos no Rio Grande do Sul. In: STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. p. 37-122.

SYVERTSEN, J.P. Light acclimation in citrus leave. II. CO₂ assimilation and light, water, and nitrogen use efficiency. *Journal of American Society for Horticulture Science*, Palo Alto, v.109, p.812 – 817, 1984.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 Ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS, 1995. 174p.

SANTOS, C. V. **Atributos físicos do solo e sistema radicular de bergamoteiras sob diferentes manejos da cobertura de entrelinhas do pomar**. 2013. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

WEBBER, H. J.; REUTHER, W.; LAWTON, H. W. History and development of the citrus industry. In: REUTHER, W.; WEBBER, H. J.; BACHELOR, L. D. (Ed.). **The citrus industry**. Berkeley: University of California, 1967. v. 1, cap.1, p.1-39.

8. APÊNDICES

Apêndice 1. Caracterização química e física do composto sólido e líquido da Cooperativa Ecocitrus de Montenegro em 2006.

| | Composto sólido | Composto líquido |
|----------------------------|-----------------|------------------|
| Umidade % | 48 | 91 |
| pH | 8,7 | 5,9 |
| Densidade | 0,685 | 1,202 |
| Carbono Orgânico (%) | 14 | 42 |
| Nitrogênio (%) | 1,5 | 2,8 |
| Fósforo (%) | 0,21 | 1,1 |
| Potássio(%) | 0,51 | 0,45 |
| Cálcio (%) | 8,0 | 1,7 |
| Magnésio (%) | 0,32 | 0,23 |
| Enxofre (%) | 0,25 | 0,44 |
| Cobre (mg/kg) | 18 | 76 |
| Zinco (mg/kg) | 43 | 417 |
| Ferro (%) | 0,91 | 1,6 |
| Manganês (mg/kg) | 346 | 185 |
| Sódio (%) | 0,2 | 0,82 |
| Cádmio (mg/kg) | 0,4 | 0,6 |
| Cromo (mg/kg) | 28 | 74 |
| Níquel (mg/kg) | 19 | 11 |
| Chumbo (mg/kg) | 7 | 22 |
| Molibdênio (mg/kg) | <0,2 | 0,4 |
| Vanádio (mg/kg) | 17 | 7 |
| Arsênio (mg/kg) | <2 | 4 |
| Boro (mg/kg) | 14 | 25 |
| Mercúrio (mg/kg) | 0,01 | <0,01 |
| Poder de Neutralização (%) | 22 | <1 |

Obs.: Tabela adaptada de Petry (2012).

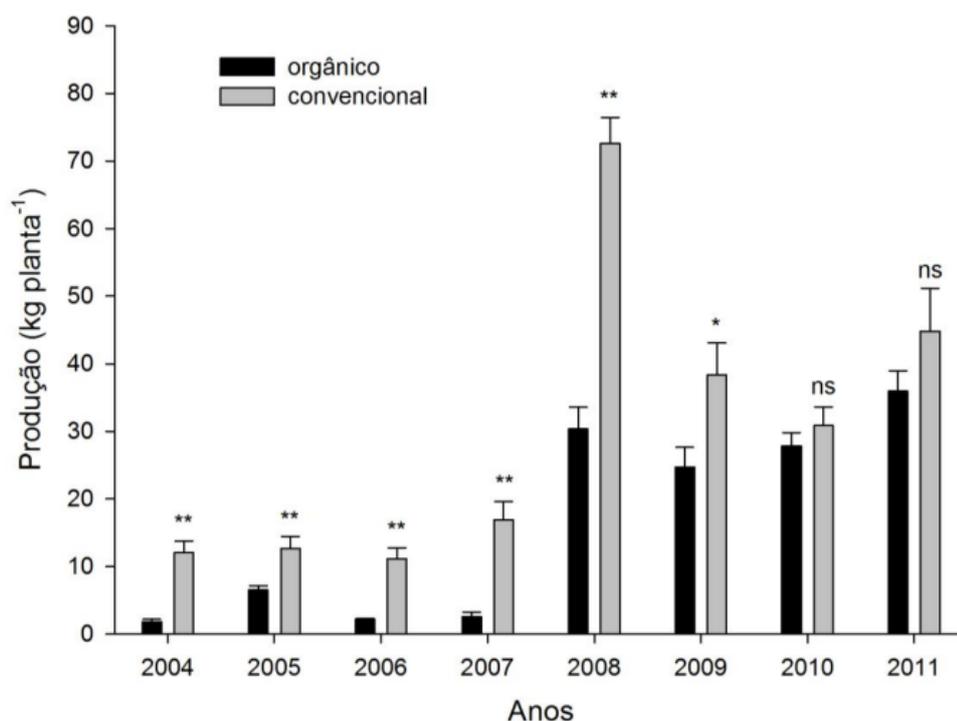
Apêndice 2. Mapa de localização dos subtratamentos ST, TR e LP e as profundidade amostradas em cada repetição



Apêndice 3. Conjunto de fotos ilustrando a coleta de amostras no solo



Apêndice 4. Produção anual de laranjas nos pomares orgânico e convencional entre os anos de 2004 e 2011



Obs.: Gráfico adaptado de Petry (2012).

Apêndice 5. Análise de variância (Anova) para os valores de matéria orgânica do solo

| Fonte | G L | F Valor | Pr > F |
|------------------------------------------|-----|---------|---------|
| Profundidade | 5 | 41,92 | < .0001 |
| Condição de tráfego | 2 | 0,21 | 0,8118 |
| Manejo | 1 | 33,41 | < .0001 |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 0,16 | 0,8492 |
| Profundidade X Condição de Tráfego | 10 | 0,07 | 1 |
| Profundidade X Manejo | 5 | 18,39 | < .0001 |
| Profundidade X Condição Tráfego X Manejo | 10 | 0,12 | 0,9995 |

Apêndice 6. Análise de variância para variável densidade do solo

| Fonte | G L | F Valor | Pr> F |
|------------------------------------------|------------|----------------|-----------------|
| Profundidade | 5 | 59,94 | < .0001 |
| Condição de tráfego | 2 | 11,75 | < .0001 |
| Manejo | 1 | 35,75 | < .0001 |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 0,83 | 0,4408 |
| Profundidade X Condição de Tráfego | 10 | 0,87 | 0,5678 |
| Profundidade X Manejo | 5 | 19,16 | < .0001 |
| Profundidade X Condição Tráfego X Manejo | 10 | 0,43 | 0,9286 |

Apêndice 7. Análise de variância para a densidade máxima que o solo pode atingir pelo ensaio de Proctor

| Fonte | G L | F Valor | Pr> F |
|------------------------------------------|------------|----------------|-----------------|
| Profundidade | 1 | 773,08 | < .0001 |
| Condição de tráfego | 2 | 1,14 | 0,3362 |
| Manejo | 1 | 437,47 | < .0001 |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 1,86 | 0,1770 |
| Profundidade X Condição de Tráfego | 2 | 2,15 | 0,1380 |
| Profundidade X Manejo | 1 | 381,84 | < .0001 |
| Profundidade X Condição Tráfego X Manejo | 2 | 2,48 | 0,1047 |

Apêndice 8. Análise de variância para a Umidade ótima para máxima compactação do solo pelo ensaio de proctor

| Fonte | G L | F Valor | Pr> F |
|------------------------------------------|------------|----------------|-----------------|
| Profundidade | 1 | 188,23 | < .0001 |
| Condição de tráfego | 2 | 5,51 | 0,0107 |
| Manejo | 1 | 258,87 | < .0001 |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 9,40 | 0,0010 |
| Profundidade X Condição de Tráfego | 2 | 0,79 | 0,4638 |
| Profundidade X Manejo | 1 | 76,45 | < .0001 |
| Profundidade X Condição Tráfego X Manejo | 2 | 5,38 | 0,0118 |

Apêndice 9. Análise de variância para os valores médios de porosidade total

| Fonte | G L | F Valor | Pr> F |
|------------------------------------------|------------|----------------|-----------------|
| Profundidade | 5 | 41,3 | < .0001* |
| Condição de tráfego | 2 | 21,27 | < .0001* |
| Manejo | 1 | 58,37 | < .0001* |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 4 | 0,022 |
| Profundidade X Condição de Tráfego | 10 | 1,56 | 0,1366 |
| Profundidade X Manejo | 5 | 9,95 | < .0001* |
| Profundidade X Condição Tráfego X Manejo | 10 | 0,64 | 0,778 |

Apêndice 10. Análise de variância para os valores de macroporosidade do solo

| Fonte | G L | F Valor | Pr> F |
|------------------------------------------|-----|---------|----------|
| Profundidade | 5 | 4,95 | 0,0006 |
| Condição de tráfego | 2 | 22,25 | < .0001* |
| Manejo | 1 | 2,31 | 0,1332 |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 3,33 | 0,0415 |
| Profundidade X Condição de Tráfego | 10 | 1,78 | 0,0796 |
| Profundidade X Manejo | 5 | 0,85 | 0,5186 |
| Profundidade X Condição Tráfego X Manejo | 10 | 0,64 | 0,7756 |

Apêndice 11. Análise de variância para os valores de microporosidade do solo

| Fonte | G L | F Valor | Pr> F |
|------------------------------------------|-----|---------|----------|
| Profundidade | 5 | 42,26 | < .0001* |
| Condição de tráfego | 2 | 0,19 | 0,8233 |
| Manejo | 1 | 66,91 | < .0001* |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 1,36 | 0,2629 |
| Profundidade X Condição de Tráfego | 10 | 1,1 | 0,3735 |
| Profundidade X Manejo | 5 | 9,45 | < .0001* |
| Profundidade X Condição Tráfego X Manejo | 10 | 1,18 | 0,3177 |

Apêndice 12. Análise de variância para os valores de taxa constante de infiltração de água no solo

| Fonte | G L | F Valor | Pr> F |
|------------------------------|-----|---------|--------|
| Manejo | 1 | 12,28 | 0,0044 |
| Condição de tráfego | 2 | 15,73 | 0,0004 |
| Condição de Tráfego X Manejo | 2 | 3,23 | 0,0756 |