



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

NATASSIA MAGALHÃES ARMACOLO

**ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E
CRESCIMENTO DE RAÍZES DE AVEIA, BRAQUIÁRIA E
SOJA EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-
FLORESTA**

Londrina
2018

NATASSIA MAGALHÃES ARMACOLO

**ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E
CRESCIMENTO DE RAÍZES DE AVEIA, BRAQUIÁRIA E
SOJA EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-
FLORESTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Profa. Dra. Maria de Fátima Guimarães.
Coorientador: Julio Cezar Franchini dos Santos.

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Armacolo, Natassia .

Atributos físico-químicos do solo e crescimento de raízes de aveia, braquiária e soja em sistema integração lavoura-pecuária-floresta. / Natassia Armacolo. - Londrina, 2018.
68 f. : il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Coorientador: Julio Cezar Franchini.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, , 2018.

Inclui bibliografia.

1. Método Monólito - Tese. 2. Software Safira - Tese. 3. Sistemas Integrados - Tese. I. Guimarães, Maria de Fátima . II. Franchini, Julio Cezar . III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. . IV. Título.

NATASSIA MAGALHÃES ARMACOLO

**ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E CRESCIMENTO DE
RAÍZES DE AVEIA, BRAQUIÁRIA E SOJA EM SISTEMA
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, da Universidade
Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Profa Dra. Maria de Fátima Guimarães
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa Pós Dra. Adriana Pereira da Silva
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr. Alvadi Antônio Balbinot Junior
Empresa Brasileira de Pesquisa - EMBRAPA

Londrina, 27 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Londrina - Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de formação.

A CAPES pela bolsa concedida.

À minha orientadora Dr^a Maria de Fátima Guimarães, pela compreensão, orientação, apoio e, principalmente pela amizade.

Ao Dr. Renato Rodrigues pela orientação, amizade, atenção e apoio durante toda a realização do trabalho, minha sincera admiração.

Ao Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos pela orientação, confiança e oportunidade da realização deste trabalho.

Aos pesquisadores Dr. Alvadi Balbinot Junior e Dr. Henrique Debiassi, pelo incentivo e por serem exemplos de profissionalismo.

Aos melhores funcionários e amigos da área de manejo do solo da Embrapa Soja, pelo suporte técnico para realização das coletas e análises.

Aos estagiários da Embrapa Soja que colaboraram com as coletas de dados para este estudo.

À minha família, que esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida, sempre me apoiando e incentivando, nunca deixando que eu desistisse dos meus objetivos.

A todos os amigos que conquistei ao longo desta etapa da vida.

Aos que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos.

ARMACOLO, N. M. **Atributos físico-químicos do solo e crescimento de raízes de aveia, braquiária e soja em sistema integração lavoura-pecuária-floresta.** 2018. 68f. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Universidade de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

O sistema integração lavoura-pecuária-floresta consiste na integração das atividades agrícola, pecuária e florestal, produzindo efeitos sinérgicos, nulos ou antagônicos, em torno dos fatores de produção. Estas interações variam no espaço e no tempo, dependem das características intrínsecas de cada espécie. O objetivo foi avaliar o sistema radicular da aveia branca, braquiária e soja em sistema integrado com eucalipto e sua relação com atributos físico-químicos do solo e produtividade das culturas. O experimento foi conduzido na Unidade de Referência de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta da Embrapa Soja, Londrina/PR. As coletas foram realizadas no período de fevereiro a setembro de 2016, após seis anos de implantação da área experimental. As áreas avaliadas foram: Lavoura de soja em integração com *Eucalyptus grandis*; Soja Solteira; Pasto-Floresta: Pastagem de *U. brizantha* cv. Piatã em integração com *Eucalyptus grandis*; Pasto Solteiro: *U. brizantha* cv. Piatã; Aveia-Floresta: Aveia-branca em integração com *Eucalyptus grandis*; Aveia Solteira. O sistema radicular da aveia-branca, soja e *U. brizantha* foi avaliado pelo método do monólito em amostras coletadas nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m, sendo que nos tratamentos integrados as coletas foram realizadas em três distâncias dos renques de eucalipto (3, 6 e 10 m). O comprimento (cm/cm³), área (mm²) e diâmetro (mm) das raízes foram quantificados pelo software Safira. Complementarmente, foram coletadas amostras de solos para análises físicas (densidade do solo, porosidade, granulometria e argila dispersa em água) e químicas (N, P, K, Ca, Mg, pH e Al+H). Nos sistemas aveia-floresta e soja-floresta, as distâncias dos renques de eucalipto não apresentaram diferenças de comprimento, área e diâmetro de raízes. A distância de 3 m no sistema pasto-floresta obteve o melhor desenvolvimento radicular. O sistema soja-floresta não apresentou variação nos atributos químicos nas três distâncias avaliadas. No sistema aveia-floresta a distância de 3 m obteve menor teor de N e, a distância de 6 m menor acidez potencial. No sistema pasto-floresta a distância de 6 m apresentou maiores teores de N, Ca, Mg, pH e menor acidez potencial. Os atributos físicos nos sistemas integrados apresentaram comportamentos semelhantes para as três distâncias. Os maiores teores de macronutrientes foram encontrados na profundidade de 0,00-0,10 m. Os sistemas integrados quando comparados com os solteiros apresentaram valores médios inferiores para todos os atributos avaliados nas cinco profundidades avaliadas. No sistema aveia-floresta não houve diferença na produtividade em relação às distâncias, contudo, no sistema aveia solteira obteve-se a maior produtividade de fitomassa. No sistema pasto-floresta a distância de 6 m foi similar ao Pasto solteiro na produtividade de fitomassa. O sistema soja-floresta não se diferenciou do sistema solteiro na produtividade de grãos. A distância de 3 m da linha de eucalipto em todos os sistemas integrados obteve a maior similaridade com os sistemas solteiros.

Palavras-chave: Método Monólito. Software Safira. Sistemas Integrados.

ARMACOLO, N. M. **Physical-chemical attributes of the soil and root growth of oats, brachiaria and soybean in a crop-livestock-forest integration system.** 2018. 68p. Master's Dissertation of the Postgraduate Program in Agronomy - University of Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The crop-livestock-forest integration system consists of the integration of agricultural, livestock and forestry activities, producing synergistic, null or antagonistic effects around the factors of production. These interactions vary in space and time, depending on the intrinsic characteristics of each species and the availability of the factors of production. The objective was to evaluate the root system of white, brachiaria and soybean oats in an integrated system with eucalyptus and its relationship with soil physicochemical attributes and crop productivity. The experiment was carried out at the Embrapa Soybean Soil-Livestock Integration Reference Unit, Londrina/PR. The collections were carried out from February to September 2016, after six years of implementation of the experimental area. The evaluated areas were: Soybean cultivation in integration with *Eucalyptus grandis*; Single Soybean; Pasto-Floresta: Pasture of *U. brizantha* cv. Piatã in integration with *Eucalyptus grandis*; Pasto Single: *U. brizantha* cv. Piatã; Oat-Forest: White oat in integration with *Eucalyptus grandis*; Single Oats. The root system of white oats, soybean and *U. brizantha* was evaluated by the monolith method in samples collected at depths of 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30, 0.30 -0.40 and 0.40-0.60 m. In the integrated treatments, the samples were collected at three distances from the eucalyptus trees (3, 6 and 10 m). The length (cm/cm³), area (mm²) and diameter (mm) of the roots were quantified by Sapira software. In addition, soil samples were collected for soil (soil, porosity, particle size and clay dispersion) and chemical (N, P, K, Ca, Mg, pH and Al + H) analyzes. In the oat-forest and soybean-forest systems, the distances of the eucalyptus swards did not present differences in length, area and root diameter. The distance of 3 m in the pasture-forest system obtained the best root development. The soybean-forest system showed no variation in the chemical attributes at the three distances evaluated. In the oat-forest system the distance of 3 m obtained lower N content, and the distance of 6 m lower potential acidity. In the pasture-forest system the distance of 6 m showed higher N, Ca, Mg, pH and lower potential acidity. The physical attributes in the integrated systems presented similar behaviors for the three distances. The highest levels of macronutrients were found in the depth of 0.00-0.10 m. The integrated systems, when compared with the unmarried individuals, presented lower average values for all the attributes evaluated in the five depths evaluated. In the oat-forest system there was no difference in productivity in relation to the distances, however, in the single oat system the highest productivity of phytomass was obtained. In the pasture-forest system the distance of 6 m was similar to the single Pasture in the productivity of phytomass. The soybean-forest system did not differ from the single system in grain yield. The distance of 3 m from the eucalyptus line in all integrated systems obtained the greatest similarity with single systems.

Keywords: Monolith Method. Sapira Software. Integrated systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Imagem aérea do Experimento. Fazenda Maravilha-PR, 2016.	26
Figura 2	Esquema da coleta de raízes nos Tratamentos de Integração, onde P1 = Perfil 1; P2 = Perfil 2; T1 = Trincheira 1; T2 = Trincheira 2; T3= Trincheira 3; T4 = Trincheira 4; T5 = Trincheira 5; T6 = Trincheira 6.....	28
Figura 3	Dendrogramas de similaridade, construído em relação à distância Euclideana utilizando os atributos químicos, físicos e de raízes, nos sistemas integrados e solteiros, nas cinco camadas avaliadas.	52
Figura 4	Histograma e dados analisados das raízes realizado pelo programa Safira.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Espécies cultivadas no Experimento Maravilha-PR no período de 2010 a 2016.	27
Tabela 2	Atributos físicos do solo nos sistemas aveia-floresta e aveia solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.	32
Tabela 3	Atributos químicos do solo nos sistemas aveia-floresta e aveia solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.....	33
Tabela 4	Avaliações radiculares nos tratamentos Aveia-Floresta e Aveia Solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias do renque de eucalipto (m). Maravilha, PR. 2016.....	37
Tabela 5	Atributos físicos do solo nos sistemas pasto-floresta e pasto solteiro em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.	38
Tabela 6	Atributos físicos do solo nos sistemas pasto-floresta e pasto solteiro em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.	40
Tabela 7	Avaliações radiculares nos sistemas pasto-floresta e pasto solteiro em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.	43
Tabela 8	Atributos físicos do solo nos sistemas soja-floresta e soja solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.	45
Tabela 9	Atributos químicos do solo nos sistemas soja-floresta e soja solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.	47
Tabela 10	Avaliações radiculares nos sistemas soja-floresta e soja solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.	49
Tabela 11	Produtividade (kg/ha) dos sistemas aveia-floresta, pasto-floresta e soja-floresta e seus respectivos sistemas solteiros, em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1	Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.....	11
2.1.1	Sistema de Integração Lavoura-Pecuária.....	13
2.1.2	Sistema de Integração Pecuária-Floresta.....	15
2.1.3	Sistema de Integração Lavoura-Floresta	16
2.2	Sistema Plantio Direto	16
2.3	Qualidade do Solo em Sistemas Conservacionistas	17
2.4	Sistema Radicular	18
2.5	Métodos de Avaliação de Raízes.....	20
3	ARTIGO: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E CRESCIMENTO RADICULAR DA AVEIA, BRAQUIÁRIA E SOJA EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA- FLORESTA	22
3.1	INTRODUÇÃO.....	24
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.2.1	Descrição, Histórico da Área Experimental e Tratamentos.....	26
3.2.2	Coleta e Análises de Solo	28
3.2.3	Coleta e Análise de Raízes	29
3.2.4	Avaliação da Planta	30
3.2.5	Análise Estatística.....	30
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
3.3.1	Atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular da aveia- floresta	31
3.3.2	Atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular do pasto- floresta	38
3.3.3	Atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular da soja-floresta.....	44
3.3.4	Produtividade das Culturas	50
3.3.5	Dendrograma de Similaridade	51

3.4	Conclusões.....	53
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

A humanidade tem enfrentado desafios cada vez maiores para produzir alimentos, fibras, energia, produtos madeireiros e não madeireiros. Intensos são os apelos para difundir a concepção de Agricultura Sustentável, e neste sentido, a adoção de sistemas de manejo conservacionistas tornou-se imprescindível.

Os diferentes sistemas de manejo podem ocasionar degradação do solo em função da realização de operações agrícolas em condições inadequadas de umidade, declive e ausência de práticas voltadas à conservação. À medida que o solo é submetido ao uso agrícola são ocasionadas alterações nas suas propriedades, muitas vezes desfavoráveis à cultura, uma vez que podem prejudicar o desenvolvimento e estabelecimento do sistema radicular das plantas.

O Sistema Plantio Direto, fundamentado pelo mínimo revolvimento do solo, cobertura permanente e rotação de culturas (FRANCHINI et al., 2011), é uma alternativa de manejo capaz de preservar as propriedades e a capacidade produtiva do solo, a redução do uso de maquinários integrado ao baixo revolvimento e a rotação de culturas preserva e permite recuperar a estrutura do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A integração lavoura-pecuária-floresta oferece uma série de vantagens em relação aos sistemas não integrados, pelo incremento de nutrientes, melhor aproveitamento da água, geração de renda ao produtor e redução da pressão sobre o desmatamento, além de contribuir para a manutenção e melhoria da qualidade do solo devido à diversificação de culturas. Contudo, para determinação da interação entre as espécies, atenção especial deve ser dada ao componente florestal, já que este proporciona alterações no balanço de energia local, alterando a disponibilidade de água e nutrientes.

A qualidade do solo é importante para garantir a produtividade das culturas, uma vez que alterações na estrutura do solo, decorrente da compactação têm reduzido a produtividade agrícola. A intensa utilização da mecanização agrícola, falta de cobertura do solo e a ausência de rotação de culturas, proporcionam a degradação física do solo, afetando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas devido à alta resistência do solo à penetração, bem como a absorção de água e nutrientes, fatores diretamente relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

O conhecimento da resposta do sistema radicular ao manejo do solo pode possibilitar significativos ganhos em produtividade. Contudo, informações sobre raízes a campo são escassas, uma vez que as pesquisas em geral são voltadas ao desenvolvimento da

parte aérea sendo a biomassa subterrânea esquecida. Avaliações de raízes em condições de campo são limitadas, trabalhosas e demoradas, requerem procedimentos destrutivos e de difícil repetição.

A avaliação da quantidade e distribuição das raízes pode fornecer informações úteis às práticas de manejo, como espaçamento entre plantas, manejo do solo, irrigação e otimização de insumos. Estudos de raízes são fundamentais para avançar nas pesquisas referentes aos sistemas de manejo, tendo-se em conta que modificações nos atributos do solo afetam diretamente o sistema radicular das plantas. Neste contexto, deve-se buscar alternativas de manejo que priorizem melhorias nas propriedades do solo para assegurar o pleno estabelecimento das raízes. A diversificação de atividades numa mesma área e o manejo adequado das culturas proporcionam melhorias nas propriedades do solo pela quebra de ciclo de pragas e doenças, redução de custos e riscos econômicos.

Diante do exposto, o presente estudo parte de hipótese de que existe a possibilidade de estimar respostas do crescimento radicular, e dos atributos físico-químicos do solo em relação às distâncias do renque de eucalipto para o sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

Desta forma, o objetivo foi avaliar o sistema radicular da aveia branca, braquiária e soja em sistema integrado com eucalipto e sua relação com atributos físico-químicos do solo e produtividade das culturas.

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

Os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) são considerados uma atividade inovadora no Brasil. O cultivo associado de culturas anuais, perenes e árvores madeireiras ou frutíferas é conhecido na Europa desde a antiguidade. Diversos autores romanos do século I d.C., como Caio Plínio e Lucius Junius Moderatus, fazem referências em suas enciclopédias à sistemas de integração entre árvores e pastagens (DUPRAZ; LIAGRE, 2008). Segundo Nair et al. (2011) os sistemas integrados chegaram ao Brasil através dos imigrantes europeus e foram adaptados às condições tropicais e subtropicais. As justificativas utilizadas para explicar o desaparecimento destes sistemas foram a mecanização, colheita manual das frutas, intensificação dos sistemas agrícolas e questões administrativas (BALBINO et al., 2011).

Os sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta tem a finalidade de associar os componentes do sistema, adequação ambiental, valorizar o homem no campo e viabilizar economicamente a atividade agropecuária (VILELA et al., 2011). O alto nível de aceitação dos sistemas integrados em diferentes ecossistemas brasileiros está relacionado a diferentes fatores, sendo estes: disponibilidade de solos favoráveis, recursos financeiros próprios ou acesso a crédito, infraestrutura para produção e armazenamento, acesso à assistência técnica e possibilidade de arrendamento da terra (DIAS-FILHO, 2007).

As diferentes modalidades de ILPF implantadas em diferentes regiões e biomas com diferentes tipos de solo, granulometria, fertilidade e estrutura física merecem estudos mais específicos sobre a qualidade física do solo, atividade biológica, fertilidade do solo e reciclagem de nutrientes. Várias linhas de pesquisa, transferência de tecnologia e fomento vêm sendo fortalecidas, para incrementar o conhecimento e a adoção deste tipo de tecnologia sustentável (BALBINO et al., 2011).

Balbino et al. (2011) classificaram os sistemas de ILPF em quatro modalidades: a) ILP ou agropastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícolas e pecuários em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos; b) IPF ou silvipastoril: sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio; c) ILF ou silviagrícola: sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola pela consorciação de

espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes); e d) ILPF ou agrossilvipastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícola, pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área.

O ILPF tem a finalidade de associar os componentes do sistema, adequação ambiental, valorizar o homem no campo e viabilizar economicamente a atividade agropecuária. A integração de árvores, lavouras e/ou pastagens é considerada uma alternativa agroecológica em substituição ao monocultivo ou pastagem contínua (VILELA et al., 2011).

Os sistemas de ILPF são adotados pela facilidade de adequação da distribuição espacial das árvores no terreno, conservação do solo e da água e análise dos aspectos comportamentais dos animais. O arranjo espacial mais simples é o em renques, no qual as árvores são plantadas em faixas com espaçamentos amplos. O espaçamento é fator dependente do objetivo do sistema, como por exemplo, quando se deseja favorecer a produção de madeira o espaçamento é menor entre os renques e quando pretende-se privilegiar a agricultura ou a pecuária, utilizam-se espaçamentos maiores entre os renques (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2004).

Os sistemas em integração podem ser mais lucrativos por causa da diversificação das atividades econômicas, da redução de custos e dos aumentos de produtividade. Quando se trata de ILP, especialmente no sistema de rotação lavoura-pasto, há aumento de produtividade de grãos cultivados após a pastagem, que também produz mais após o solo ter sido utilizado para cultivo de grãos. E essa pastagem mais produtiva resultará em maior ganho de peso de bovinos ou produção leiteira. Em sistemas em integração que contêm o componente florestal, pode-se adicionar ainda a receita proveniente da comercialização de produtos madeireiros e não madeireiros obtidos no mesmo espaço, além de outros benefícios (SALTON et al., 2015).

Em sistemas integrados compostos por eucalipto, culturas anuais e/ou pecuária, a idade ótima para o primeiro desbaste do componente florestal é entre 5 e 8. Neste desbaste se obtêm receitas pela comercialização de escoras, energia e celulose, recursos esses que auxiliam na amortização das despesas de implantação e manutenção do plantio. O plantio de espécies arbóreas em pastagens e lavouras aumentam de forma significativa o retorno econômico em médio prazo (MACEDO et al., 2010), principalmente pelo potencial do mercado madeireiro.

O alto nível de aceitação dos sistemas integrados em diferentes ecossistemas brasileiros está relacionado a diferentes fatores, sendo estes: disponibilidade de solos favoráveis, recursos financeiros próprios ou acesso a crédito, infraestrutura para produção e

armazenamento da produção, acesso à assistência técnica e possibilidade de arrendamento da terra (DIAS-FILHO, 2007).

O consumo mundial de madeira em toras aumentará, até 2030, aproximadamente 45% em relação ao consumo em 2005 e atingirá cerca de 2,44 milhões de m³ (FAO, 2009). Diante desse cenário, parte da demanda brasileira poderá ser atendida com a introdução de árvores nas pastagens de baixa produtividade no Cerrado (mais de 30 milhões de hectares). A arborização dessas pastagens, associada à lavoura de grãos, em sistemas de integração com componente florestal, pode ser uma alternativa para reduzir os custos com correção da fertilidade de solo e plantio de árvores (VILELA et al., 2012).

A adoção da ILP ou da ILPF possibilita a melhoria da produtividade, da qualidade dos produtos e aumento da renda das atividades agropecuárias, integrando as explorações de lavoura, pecuária e/ou floresta em áreas já desmatadas, como alternativa aos monocultivos tradicionais (CORDEIRO et al., 2015; KLUTHCOUSKI et al., 2015; SALTON et al., 2015).

1.1.1 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária

A pecuária brasileira vem enfrentando diversos problemas em relação ao manejo sustentável das pastagens. O principal sinal de baixa sustentabilidade da pecuária é a degradação de pastagens nas diferentes regiões do país, sendo o manejo inadequado do rebanho o principal fator da degradação. Aidar e Kluthcouski (2003) relatam que além do manejo inadequado do rebanho, a baixa reposição de nutrientes no solo, os impedimentos físicos dos solos, e os baixos investimentos tecnológicos são fatores que afetam diretamente a sustentabilidade na pecuária. Estas restrições trazem consequências negativas, tais como: baixa oferta de forragens, baixos índices zootécnicos e baixa produtividade de carne e leite por hectare, além de reduzido retorno econômico e ineficiência.

Diante o cenário de degradação das áreas de pastagens, os sistemas de Integração Lavoura-Pecuária vêm sendo utilizados como uma alternativa para a sustentabilidade. O manejo inadequado do rebanho normalmente é considerado a principal causa de sua degradação. Degradação de pastagens é definida como um processo evolutivo de perda do seu vigor, produtividade e capacidade de recuperação natural para sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais. Estima-se que 80% das pastagens cultivadas no Brasil Central, responsáveis por mais de 55% da produção nacional de carne, encontram-se

em algum estágio de degradação. Isso afeta, diretamente, a sustentabilidade da pecuária (MACEDO et al., 2000; MACEDO; ZIMMER, 1993, 2015).

Com relação à agricultura, o monocultivo e as práticas culturais inadequadas têm causado perda de produtividade, ocorrência de pragas e doenças, e degradação do solo e dos recursos naturais. Nas áreas de lavouras temporárias, bem como em áreas de pastagens naturais e plantadas, predomina a monocultura e, na maioria dos casos, a utilização de boas práticas agrônômicas não é seguida, o que resulta em degradação dos solos e se reflete em baixa produtividade e elevada erosão (BALBINO, 2001; HERNANI et al., 2002; MACEDO, 2009, 2015).

A diversificação, a rotação, a consorciação ou a sucessão das atividades de agricultura e pecuária dentro da propriedade rural, de forma harmônica, no mesmo sistema, proporciona benefícios (aumento da produção de grãos, de carne e leite em virtude do sinergismo no sistema), possibilitando que a área seja explorada economicamente durante o ano todo (ALVARENGA; NOCE, 2005).

Na década de 90, foram iniciados estudos de longa duração na região Sul do Brasil utilizando culturas graníferas (soja, milho, trigo e aveia-branca) em sucessão ou rotação com pastagens anuais de inverno (aveia-preta, ervilhaca e azevém) e de verão (milheto), ou com pastagens perenes com alfafa, festuca consorciada ao trevo-branco e trevo-vermelho (SANTOS et al., 2003). Os sistemas como Barreirão, Santa Fé e Sistemas Mistos são sistemas que fazem o consórcio de grãos com forrageiras tropicais (braquiária, Panicum, Andropogon e leguminosas forrageiras) e são implantadas em áreas da região Norte do Paraná até o Cerrado (GONÇALVES; FRANCHINI, 2007).

Na região Norte do Paraná, o sistema de Integração Lavoura-Pecuária é realizado com a produção de grãos nos dois ou três primeiros anos e, posteriormente, pastagens perenes, como por exemplo, *Urochloa* spp. Na rotação de culturas, geralmente são utilizadas *U. ruziziensis* ou *U. brizantha* nas regiões mais quentes e aveia preta solteira ou consorciada com azevém (*Lolium multiflorum*) nas regiões mais frias (BALBINOT JUNIOR, 2012). Em função do mercado moveleiro da região a espécie florestal utilizada no sistema integrado é *Eucalyptus grandis*.

A utilização de leguminosas perenes de inverno associadas à gramíneas anuais de inverno trazem uma série de vantagens como: melhoria da qualidade da dieta dos animais em pastejo no inverno, redução do uso de nitrogênio no sistema, melhor cobertura do solo e redução do custo da alimentação animal (BALBINO et al., 2011).

Debiasi e Franchini (2012) observaram que em sistemas de ILP conduzidos adequadamente, a produtividade da soja é igual ou superior a sistemas exclusivos. Desta forma, sistemas de integração ganham destaque como alternativa de uso do solo, por assegurar a sustentabilidade da produção, conservação da água e solo e melhorar os atributos físicos e químicos do solo; principalmente em relevos acidentados e susceptíveis à erosão (BALBINOT JUNIOR et al., 2009).

Alguns produtores rurais possuem receio de adotar o ILP, abordando que a presença de animais, nas áreas de lavoura, possa resultar em compactação do solo. O pisoteio animal pode causar compactação quando, a carga animal é manejada de forma inadequada (FLORES et al., 2007), com pouca quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (BRAIDA et al., 2006) e altura de manejo da pastagem inadequada (CASSOL, 2007). De acordo com Bassani (1996), o efeito do pisoteio animal sobre as propriedades física do solo é limitado às camadas superficiais do solo. Flores (2004), estudando um Latossolo submetido ao pastejo de inverno com culturas de azevém e aveia-preta, não encontrou diferença significativa na densidade e na porosidade. Debiasi e Franchini (2012) mostraram que a compactação do solo pode chegar a 0,30 m em caso de pastejo intenso e solo úmido.

1.1.2 Sistema de Integração Pecuária-Floresta

A Integração Pecuária-Floresta (IPF) proporciona microclima favorável à ambiência animal pela sombra das árvores, evita a exposição direta à insolação ou baixas temperaturas e produz reflexos positivos sobre a produtividade e reprodução animal (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2004). Macedo et al. (2010) demonstraram ganhos de eficiência agrônômica e econômica diretamente relacionados à produtividade e redução de custos.

O Estado do Paraná destaca-se em relação aos demais Estados brasileiros por apresentar experiência com sistemas silvipastoris, os quais já fazem parte de sistemas produtivos locais há anos, principalmente em áreas com pecuária de corte (RADOMSKI; RIBASKI, 2009). As espécies florestais exóticas dos gêneros *Eucalyptus*, *Corymbia* e *Grevillea* são as mais utilizadas nestes sistemas. Em algumas áreas foram relatadas o uso de espécies exóticas associadas com espécies nativas como, a canafístula, a gurucaia, a guabiroba, a aroeira e o ipê-amarelo (BALBINO et al., 2011).

A associação de *Pinus elliottii* em sistema de IPF aumenta a rentabilidade do sistema, com os benefícios ambientais e sociais, assim como a presença do componente animal (gado de corte) apresentou reduzida influência sobre a produção e a qualidade da

floresta (BAGGIO; SCHREINER, 1988). Rodigheri (1998) concluiu em seu estudo que os indicadores econômicos dos cultivos florestais solteiros ou em sistemas silviagrícolas apresentam maiores rentabilidades quando comparados às rotações de culturas anuais.

1.1.3 Sistema de Integração Lavoura-Floresta

No sistema de Integração Lavoura-Floresta (ILF), a lavoura desempenha o papel mais importante dentro do sistema, devido ser o componente que apresenta maior exigência quanto ao manejo. As principais contribuições das culturas anuais é o rápido retorno financeiro e o incremento da qualidade química do solo (SILVA et al., 2011).

No estabelecimento de culturas anuais e árvores, bem como os tratos culturais devem seguir as recomendações técnicas para cada cultura. Necessita-se compreender que a prática de um componente não pode interferir negativamente no outro, tendo como exemplo, quando a deriva da aplicação de herbicidas atinge as mudas arbóreas (ALVARENGA et al., 2010). Mello (2002) relata que o consórcio entre eucalipto e soja apresenta êxito em áreas do Cerrado.

1.2 Sistema Plantio Direto

O Sistema Plantio Direto (SPD) foi introduzido no Sul Brasil, na década de 70, sendo considerado um dos maiores avanços já registrado na agricultura brasileira. O objetivo principal era reduzir a erosão do solo e minimizar impactos ambientais provenientes do sistema de preparo convencional.

O SPD é uma técnica conservacionista e apresenta diferentes benefícios, tais como: contribui para a redução no consumo de combustível nas atividades agrícolas; reduz o tráfego de máquinas nas áreas; proporciona maior conservação de umidade do solo e maior aproveitamento da água disponível pelas plantas; contribui para a melhoria da porosidade total do solo (PEREIRA, 1998); e melhoria na qualidade do solo.

O SPD é caracterizado pelo não revolvimento, cobertura permanente do solo e rotação de culturas (SALTON et al., 2011). O SPD proporciona ainda aumento nos teores de matéria orgânica do solo, atribuído ao mínimo revolvimento e acúmulo de resíduos vegetais no solo que possibilitam a mineralização de forma gradual e lenta dos compostos orgânicos nas camadas superficiais (SCHERER; NESI 2007).

Este sistema favorece a conservação e o manejo do solo e da água, porém, o tráfego intensivo de máquinas pesadas em momentos não adequados de umidade do solo, aliado à quantidade e qualidade da palhada existente oriunda de inadequado planejamento de culturas, muitas vezes acarreta em compactação do solo, principalmente em camadas com profundidades de 0,1 a 0,2 m (BEUTHER; CENTURIOM, 2003).

Algumas medidas de manejo vêm sendo indicadas como opção para o rompimento da camada compactada do solo como, a rotação de culturas com plantas de sistema radicular abundante e elevada produção de fitomassa (SILVA; ROSOLEM, 2002). A rotação também é considerada uma estratégia que eleva o teor de matéria orgânica. SCHERER; NESI (2007) observaram em SPD maiores teores de matéria orgânica (em até 20 g dm⁻³) nas camadas superficiais do solo, resultando em melhor estrutura decorrentes dos canais deixados pelas raízes em decomposição.

O sucesso do SPD depende de alguns fatores, como as condições edafoclimáticas da região; qualificação do produtor; boa drenagem de solos úmidos com lençol freático elevado; eliminação de camadas compactadas; e os restos culturais devem cobrir em média de 80% da superfície do solo (LOPES et al., 1987).

1.3 Qualidade do Solo em Sistemas Conservacionistas

As propriedades do solo refletem a capacidade de produção e sustentabilidade representadas por indicadores que demonstram a qualidade em função do uso da terra e sistemas de manejo (DORAN; PARKIN, 1994). A melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; quebra de ciclo de doenças; redução de insetos-pragas, plantas daninhas e riscos econômicos, podem ser determinados pelo sinergismo entre lavoura-pecuária e a diversificação das atividades desenvolvidas (BALBINO et al., 2011).

Um dos principais fatores determinantes da produtividade é a qualidade física do solo, pois exerce influência direta no crescimento e desenvolvimento das plantas e indireta nos atributos químicos e biológicos (FRANCHINI et al., 2011). Campos et al. (1995) destacam que o principal indicador de crescimento das plantas é a estrutura do solo, devido à influência na compactação e infiltração de água.

A compactação do solo ocasiona baixa produtividade, restrição de infiltração de água e baixa disponibilidade de nutrientes. A densidade, porosidade e resistência à penetração são considerados atributos do solo para diagnosticar a compactação

(ROQUE et al., 2008), sendo que a resistência é capaz de indicar valores potencialmente limitantes ao crescimento de raízes (IMHOFF et al., 2000). Taylor et al. (1966) observaram que valores superiores a 2,0 MPa começa a ocorrer redução crescimento radicular da maioria das culturas. Algumas plantas nativas crescem naturalmente acima de 3,0 MPa (BEUTHER;CENTURION, 2003), contudo, existem restrições a partir de 1,4 MPa (FOLONI et al., 2003). Spera et al. (2004), afirmam que a rotação na produção de grãos com pastagens perenes subtropicais e temperadas diminui a compactação e a presença dos resíduos vegetais aumentam o teor na matéria orgânica.

O uso de forrageiras nos sistemas integrados aumenta o teor de matéria orgânica e melhora a estrutura do solo, pela introdução de fitomassa que proporciona cobertura vegetal, geralmente, insuficientes nas culturas agrícolas exclusivas (RANGEL et al., 2010). Em compensação, solos sob pastejo apresentam maior resistência quando comparados com diferentes sistemas de manejo. Sistemas integrados com rotação de culturas possibilitam melhorias na estrutura física do solo, a qual altera indiretamente a qualidade química na capacidade de troca catiônica e na biomassa e atividade biológica pelo incremento dos teores de matéria orgânica no solo (FRANCHINI et al., 2011).

1.4 Sistema Radicular

As raízes desempenham funções primárias como absorção de água e nutrientes para as plantas. Diversos processos e mecanismos contribuem para o uso eficiente dos nutrientes, e estão relacionados com características morfológicas (arquitetura e volume das raízes) e fisiológicas, além de fatores genéticos (FAGERIA; BALIGAR, 1993).

A arquitetura de um sistema radicular reflete na distribuição tridimensional, no padrão de enraizamento, a forma e a idade das raízes. É comum a variação das espécies, mas a divisão pronunciada entre dicotiledônea (soja, feijão, girassol, café, etc.) e monocotiledônea (capim, milho, trigo, aveias, etc.) é a mais relevante (PACHECO-VILLALOBOS; HARDTKE, 2012).

As monocotiledôneas são compostas essencialmente por dois tipos de raízes, as seminais e nodais. Ambas as raízes crescem extensivamente formando um conjunto radicular fibroso, neste conjunto de raízes não é possível distinguir a raiz principal, todas tendem a apresentar o mesmo diâmetro e grau de desenvolvimento. O sistema radicular das dicotiledôneas é formado por raízes pivotantes ou axiais, consiste de uma única raiz primária

e uma rede de raízes laterais que permanecem ativas durante o ciclo de vida das plantas (GREGORY, 2006).

O desenvolvimento de raízes independentemente do tipo de divisão depende da atividade do meristema apical e do meristema de raízes laterais (TAIZ; ZAIGER, 2010). A raiz pode ser dividida em três zonas: a meristemática, zona de alongamento e zona de maturação.

Na ponta da raiz fica localizada a região de divisão, conhecida como coifa, a qual tem a função de proteger o delicado meristema, garantir a expansão da raiz no solo e perceber a gravidade. A coifa é coberta por mucigel, com o intuito de absorver nutrientes, auxiliar na penetração e interagir com microrganismos. Na zona de alongamento, as células do córtex sofrem divisões rapidamente e ao final do desenvolvimento primário da raiz, a camada interna é denominada endoderme. Na endoderme acontece o depósito de suberina em células radiais formando as estrias de Caspary, que controlam a entrada de água e nutrientes para dentro da raiz. A zona de maturação é composta por pêlos radiculares, aumentando a área de absorção de água e nutrientes (GONÇALVES; LYNCH, 2014).

A alta concentração de alumínio no solo é considerada a limitação mais comum para o desenvolvimento das plantas em solos ácidos, devido ao fato que o pH tende a diminuir (< 5,0) fazendo com que os minerais que contém alumínio tornem-se mais solúveis ocasionando fitotoxicidade às raízes, as quais essas tendem a ficar com maior diâmetro e menor comprimento. A quantidade inadequada de fósforo também afeta o desenvolvimento radicular, devido à relação direta deste macronutriente com a sensibilidade gravitrópica da coifa e das raízes basais, resultando no sistema radicular superficial (GREGORY, 2006).

Outro fator que afeta o alongamento das raízes são as zonas compactadas do solo que comumente são causadas pelo tráfego intensivo de maquinários e manejo inadequado. A compactação reduz a porosidade total, capacidade de infiltração de água, aeração e condutividade hidráulica do solo (TAVARES FILHO et al., 2001; MORAES et al., 2016). A infiltração e absorção de água e nutrientes tornam-se limitantes, além de diminuir as trocas gasosas e promover maior resistência mecânica do solo ao crescimento de raízes, resultando em menor volume de solo explorado, menor absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, baixa produtividade (SEIXAS, 1988; BEULTER; CENTURIOM, 2004).

O volume que as raízes ocupam no solo é normalmente inferior a 1% da camada arável. A densidade de raízes varia de acordo com as espécies, situa-se na faixa de 0,01 a 0,05 m m⁻³, na camada superficial (0,15 m) para culturas anuais (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Jackson et al. (1996) destacam que a média global da profundidade de

raízes nos diferentes biomas é aproximadamente de 30, 50 e 75% de raízes nos primeiros 0,10 m, 0,20 m e 0,40 m, respectivamente.

1.5 Métodos de Avaliação de Raízes

A interação entre ambiente, solo e plantas em pleno crescimento é resultante de processos dinâmicos relacionados com a distribuição de raízes no perfil do solo (BOHM, 1979). O manejo adequado do solo e das culturas proporciona condições ideais para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e permite maior exploração do solo. Desta forma, é importante conhecer o sistema radicular para compreender o desenvolvimento das plantas e assim aperfeiçoar os sistemas de manejo (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Estudos são realizados para avaliar as características do dossel de diferentes culturas, mas poucos são os estudos sobre o sistema radicular pelas dificuldades metodológicas relacionadas com a amostragem de raízes (LIEDGENS; RICHNER, 2001; MUÑOZ-ROMERO et al., 2001). O crescimento radicular deve ser avaliado em função de características como massa, comprimento e área, no tempo e no espaço, juntamente com fatores que afetam a sua distribuição (BOHM, 1979).

Desafios são encontrados para quantificar sistemas radiculares, entre eles: ampla faixa de variação no tamanho e no diâmetro, complexa arquitetura, rápido crescimento e decomposição de raízes finas, relações simbióticas na rizosfera e variações químicas, físicas e biológicas que ocorrem na interface raiz-solo (DOURADO-NETO et al., 1998; VASCONCELOS et al., 2003).

Bengough et al. (1990) relatam que métodos de avaliação de raízes enfrentam a peculiaridade de avaliar pequena parte do sistema radicular, e muitas vezes são destrutivos. A umidade, distribuição de nutrientes, compactação e temperatura interagem com as raízes e limitam a distribuição radicular, além de ser de difícil separação os efeitos genotípicos dos ambientais em condições de campo.

As técnicas de análise radicular podem ser divididas em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos necessitam de escavação, por exemplo, placa de pregos, monólito e trincheiras. Nestes métodos, as raízes são expostas, contadas e registradas. No entanto, cada metodologia apresenta algumas particularidades de amostragem e avaliação. Contudo, são consideradas destrutivas por mobilizarem grande volume de solo. Os métodos indiretos são fundamentados na determinação de taxas de mudanças de água ou elementos no perfil do solo, inferindo-se a distribuição e atividade radicular (BÖHM, 1979). Diante das

metodologias disponíveis no Brasil os métodos mais utilizados são: trincheira ou parede do perfil; blocos ou monólitos e placas de pregos (MEDINA; NEVES, 1999).

O método da parede do perfil é fundamentado na abertura de trincheiras transversais às linhas de plantio, com objetivo de expor as raízes, as quais serão representadas através de desenho ou contagem (porcentagem de raiz por profundidade). O método do monólito e placa de pregos baseiam-se na retirada de blocos de solo com raízes e podem apresentar diversos formatos.

A seleção do método é de difícil escolha pela complexidade e estrutura variável das raízes, assim como, a distribuição no espaço. Deve ser fundamentada pela praticidade e especificidade de cada condição (BÖHM, 1979). Além de considerar o objetivo do estudo, depende da cultura, possibilidade de amostragem destrutiva ou não, disponibilidade de mão-de-obra, condições edáficas e de manejo (OTTO et al., 2009; VASCONCELOS et al., 2003).

3 ARTIGO: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E CRESCIMENTO RADICULAR DA AVEIA, BRAQUIÁRIA E SOJA EM SISTEMA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

RESUMO

A integração lavoura-pecuária-floresta proporciona benefícios recíprocos entre os componentes, reduzindo as causas da degradação física, química e biológica do solo. A integração entre estas atividades ocorrem em rotação, consórcio ou sucessão, possibilitando a diversificação da produção agrícola no espaço e no tempo. O objetivo do trabalho foi avaliar o sistema radicular da aveia branca, braquiária e soja em sistema integrado com eucalipto e sua relação com os atributos físico-químicos do solo e produtividade das culturas. O experimento foi conduzido na Unidade de Referência de Integração Lavoura- Pecuária-Floresta da Embrapa Soja, Londrina/PR. As coletas foram realizadas no período de fevereiro a setembro de 2016, após seis anos de implantação da área experimental. As áreas avaliadas foram: Lavoura de soja em integração com *Eucalyptus grandis*; Soja Solteira; Pasto-Floresta: Pastagem de *U. brizantha* cv. Piatã em integração com *Eucalyptus grandis*; Pasto Solteiro: *U. brizantha* cv. Piatã; Aveia-Floresta: Aveia-branca em integração com *Eucalyptus grandis*; Aveia Solteira. O sistema radicular da aveia-branca, soja e *U. brizantha* foi avaliado pelo método do monólito em amostras coletadas nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30, 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m, sendo que nos tratamentos integrados as coletas foram realizadas em três distâncias dos renques de eucalipto (3, 6 e 10 m). O comprimento (cm/cm³), área (mm²) e diâmetro (mm) das raízes foram quantificados pelo software Safira. Complementarmente, foram coletadas amostras de solos para análises físicas (densidade do solo, porosidade, granulometria e argila dispersa em água) e químicas (N, P, K, Ca, Mg, pH e Al+H). Nos sistemas aveia-floresta e soja-floresta, as distâncias dos renques de eucalipto não apresentaram diferenças de comprimento, área e diâmetro de raízes. A distância de 3 m no sistema pasto-floresta obteve o melhor desenvolvimento radicular. O sistema soja-floresta não apresentou variação nos atributos químicos nas três distâncias avaliadas. No sistema aveia-floresta a distância de 3 m obteve menor teor de N e, a distância de 6 m menor acidez potencial. No sistema pasto-floresta a distância de 6 m apresentou maiores teores de N, Ca, Mg, pH e menor acidez potencial. Os atributos físicos nos sistemas integrados apresentaram comportamentos semelhantes para as três distâncias. Os maiores teores de macronutrientes foram encontrados na profundidade de 0,00-0,10 m. Os sistemas integrados quando comparados com os solteiros apresentaram valores médios inferiores para todos os atributos avaliados nas cinco profundidades avaliadas. No sistema aveia-floresta não houve diferença na produtividade em relação às distâncias, contudo, no sistema aveia solteira obteve-se a maior produtividade de fitomassa. No sistema pasto-floresta a distância de 6 m foi similar ao Pasto solteiro na produtividade de fitomassa. O sistema soja-floresta não se diferenciou do sistema solteiro na produtividade de grãos. A distância de 3 m da linha de eucalipto em todos os sistemas integrados obteve a maior similaridade com os sistemas solteiros.

Palavras-chave: Método Monólito. Software Safira. Sistemas Integrados.

ARTIGO: PHYSICAL-CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL AND RADICULAR GROWTH OF OAT, BRACHIARY, AND SOYBEAN IN LAGURA-LIVESTOCK-LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEM

ABSTRACT

The crop-livestock-forest integration provides reciprocal benefits among the components, reducing the causes of physical, chemical and biological soil degradation. The integration between these activities occurs in rotation, consortium or succession, making possible the diversification of agricultural production in space and time. The objective of this work was to evaluate the root system of white oat, bracharya and soybean in an integrated system with eucalyptus and its relationship with soil physical and chemical attributes and crop productivity. The experiment was carried out at the Embrapa Soybean Soil-Livestock Integration Reference Unit, Londrina/PR. The collections were carried out from February to September 2016, after six years of implementation of the experimental area. The evaluated areas were: Soybean cultivation in integration with *Eucalyptus grandis*; Single Soybean; Pasto-Floresta: Pasture of *U. brizantha* cv. Piatã in integration with *Eucalyptus grandis*; Pasto Single: *U. brizantha* cv. Piatã; Oat-Forest: White oat in integration with *Eucalyptus grandis*; Single Oats. The root system of white oats, soybean and *U. brizantha* was evaluated by the monolith method in samples collected at depths of 0-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.30, 0.30 -0.40 and 0.40-0.60 m. In the integrated treatments, the samples were collected at three distances from the eucalyptus trees (3, 6 and 10 m). The length (cm/cm³), area (mm²) and diameter (mm) of the roots were quantified by Sapira software. In addition, soil samples were collected for soil (soil, porosity, particle size and clay dispersion) and chemical (N, P, K, Ca, Mg, pH and Al + H) analyzes. In the oat-forest and soybean-forest systems, the distances of the eucalyptus swards did not present differences in length, area and root diameter. The distance of 3 m in the pasture-forest system obtained the best root development. The soybean-forest system showed no variation in the chemical attributes at the three distances evaluated. In the oat-forest system the distance of 3 m obtained lower N content, and the distance of 6 m lower potential acidity. In the pasture-forest system the distance of 6 m showed higher N, Ca, Mg, pH and lower potential acidity. The physical attributes in the integrated systems presented similar behaviors for the three distances. The highest levels of macronutrients were found in the depth of 0.00-0.10 m. The integrated systems, when compared with the unmarried individuals, presented lower average values for all the attributes evaluated in the five depths evaluated. In the oat-forest system there was no difference in productivity in relation to the distances, however, in the single oat system the highest productivity of phytomass was obtained. In the pasture-forest system the distance of 6 m was similar to the single Pasture in the productivity of phytomass. The soybean-forest system did not differ from the single system in grain yield. The distance of 3 m from the eucalyptus line in all integrated systems obtained the greatest similarity with single systems.

Keywords: Monolith Method. Safira Software. Integrated systems.

3.1 INTRODUÇÃO

O cenário de degradação dos solos levou o meio científico a procurar sistemas produtivos sustentáveis. As ações de conservação do solo e da água levam o ecossistema agrícola a ser não apenas um provedor de alimentos e fibras para gerar, de modo sustentável, renda ao produtor e segurança alimentar, mas também a ser um provedor de serviços ambientais. Há no Brasil práticas agrícolas que, se forem consideradas todas as práticas conservacionistas, podem oferecer diversos serviços ambientais, como, Sistema Plantio Diretos (SPD) e sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em SPD (MACHADO et al., 2010).

O Sistema ILPF vem ganhando importância dentro da propriedade agrícola, pois permite a continuidade na produção de alimentos em um patamar mais eficiente (VILELA, 2010). Esse sistema permite uso mais racional de insumos, máquinas e mão-de-obra na propriedade agrícola, além de diversificar a produção e o fluxo de caixa dos produtores. Evidentemente que alguns requisitos são necessários para implementar o sistema, tais como, máquinas e implementos agrícolas mais diversificados, infra-estrutura de estradas e armazéns, mão-de-obra qualificada, domínio da tecnologia de lavouras anuais, pecuária e floresta (MACEDO 2009).

As propriedades do solo refletem a capacidade de produção e sustentabilidade representadas por indicadores que demonstram a qualidade em função do uso da terra e sistemas de manejo (DORAN; PARKIN, 1994). A melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; quebra de ciclo de doenças; redução de insetos-pragas, plantas daninhas e riscos econômicos, podem ser determinados pelo sinergismo entre lavoura-pecuária e a diversificação das atividades desenvolvidas (BALBINO et al., 2011).

Nos sistemas integrados, são introduzidas espécies de plantas que apresentam vasto sistema radicular, com crescimento rápido, contínuo e abundante produção de palhada para cobertura do solo. Neste contexto, o consórcio de culturas é considerado um eficiente sistema para promover estruturação adequada do solo para as culturas subsequentes. O cultivo de soja após a pastagem torna-se um diferencial na melhoria da qualidade do solo, uma vez que as raízes das plantas conseguem se desenvolver em maior volume e explorar melhor o perfil do solo (SALTON et al., 2008).

A interação entre ambiente, solo e plantas em pleno crescimento é resultante de processos dinâmicos relacionados com a distribuição de raízes no perfil do solo (BOHM,

1979). O manejo adequado proporciona condições ideais para o desenvolvimento do sistema radicular e permite maior exploração do solo. Desta forma, é importante conhecer o sistema radicular para compreender o desenvolvimento das plantas e assim aperfeiçoar os sistemas de manejo (TAIZ; ZEIGER, 2010).

Rich; Watt (2013) mencionam que a arquitetura radicular tem a capacidade de determinar o acesso à água e nutrientes e que os processos de alongamento e ramificações das raízes podem ser influenciados pela disponibilidade de nutrientes. Para que ocorra a máxima absorção de nutrientes pelas raízes, são necessárias adequadas condições químicas, físicas e biológicas do solo.

Desafios são encontrados para quantificar sistemas radiculares, entre eles: ampla faixa de variação no tamanho e no diâmetro, complexa arquitetura, rápido crescimento e decomposição de raízes finas, relações simbióticas na rizosfera e variações químicas, físicas e biológicas que ocorrem na interface raiz-solo (DOURADO-NETO et al., 1998; VASCONCELOS et al., 2003). Bengough et al. (1990) relatam que métodos de avaliação de raízes enfrentam a peculiaridade de avaliar pequena parte do sistema radicular, e muitas vezes são destrutivos.

Diante o exposto, o objetivo foi avaliar o sistema radicular da aveia branca, braquiária e soja em sistema integrado com eucalipto e sua relação com atributos físico-químicos do solo e produtividade das culturas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Descrição, Histórico da Área Experimental e Tratamentos

O estudo foi conduzido na Unidade de Referência Tecnológica (URT) da Embrapa Soja, instalado em 22,5 ha na Fazenda Maravilha, no município de Londrina/PR (23°11'34''S e 51°11'02''W e altitude de 465 m). O bioma da região é Mata Atlântica com vegetação de Floresta Ombrófila Mista. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido mesotérmico, com verão quente e sem estação seca definida. A precipitação média anual é de 1.626 mm, com temperaturas máxima e mínima anuais de 27,3°C e 16,1°C, respectivamente (IAPAR, 2016). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso (EMBRAPA, 2013).

A URT foi implantada no ano 2010 com o objetivo de avaliar o desempenho de culturas graníferas integradas com *Eucalyptus grandis* e pastagem de *U. brizantha* cv. Piatã (Figura 1). O eucalipto foi plantado em fileiras simples com o espaçamento de 2,5 m entre plantas. Os renques foram implantados acompanhando a base inferior do terraço. A área experimental apresenta declividade acentuada. Nos dois primeiros anos, a área destinada à cultura granífera foi conduzida com milho e trigo. Posteriormente, houve alteração no sistema, com a implantação de soja no verão e rotação de trigo/milho/aveia no inverno (Tabela 1). Nas áreas com pastagens não houve alteração até o ano de 2016.



Figura 1. Imagem aérea do Experimento. Fazenda Maravilha-PR, 2016.
Fonte: Google Earth

Tabela 1. Espécies cultivadas no Experimento Maravilha-PR no período de 2010 a 2016.

Ano	Tratamentos			
	Lavoura-Floresta ¹	Pastagem-Floresta	Lavoura ²	Pastagem
	Culturas (inverno/verão)			
2010/11	Milho verão + Eucalipto	Milho verão + Eucalipto	Milho Verão	Milho Verão
2011/12	Aveia/Soja + Eucalipto	Aveia/Soja + Eucalipto	Aveia/Soja	Aveia/Soja
2012/13	Aveia/Milho + Eucalipto	Aveia/Milho + Eucalipto	Aveia/Milho	Aveia/Milho
2013/14	Trigo/Milho + Eucalipto	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã + Eucalipto	Trigo/Milho	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã
2014/15	Trigo/Soja + Eucalipto	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã + Eucalipto	Trigo/Soja	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã
2015/16	Trigo/Soja + Eucalipto	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã + Eucalipto	Trigo/Soja	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã
2016/17	Aveia/Soja + Eucalipto	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã + Eucalipto	Aveia/Soja	<i>U. brizantha</i> cv. Piatã

¹ Lavoura-Floresta: Área composta pelos tratamentos Aveia-Floresta e Soja-Floresta ² Lavoura: Área composta pelos tratamentos Aveia Solteira e Soja Solteira.

As áreas avaliadas neste estudo foram:

- 1- Soja-Floresta: Lavoura de soja e aveia em integração com *Eucaliptus grandis*;
- 2- Soja Solteira: Lavoura de soja, em rotação com trigo e milho verão;
- 3- Pasto-Floresta: Pastagem de *U. brizantha* cv. Piatã integrado com *Eucaliptus grandis*;
- 4- Pasto Solteiro: Pastagem exclusiva *U. brizantha* cv. Piatã;
- 5- Aveia-Floresta: Lavoura de aveia branca em integrada com *Eucaliptus grandis*;
- 6- Aveia Solteira: Lavoura de Aveia, em rotação com trigo e milho verão.

O componente animal foi introduzido nos sistemas, pasto-floresta e pasto solteiro no ano de 2014. No ano de 2016, no qual foi realizado o estudo, ambos os tratamentos possuíam 11 animais da raça Nelore na fase de desmame com aproximadamente 120 Kg cada, no período de janeiro a maio. Nos meses de junho a dezembro havia 80 animais dos quais, 36 eram da raça Red Angus e 44 Bonsmara, ambos na fase de desmame com aproximadamente 130 Kg cada animal.

A semeadura da cultura da soja foi realizada em sucessão ao trigo no dia 13 novembro 2015, em espaçamento de 0,45 m entre linhas, com adubação de 350 kg ha⁻¹ do formulado 02-20-18 e a semeadura da aveia foi realizada em sucessão à soja no dia 06 de abril de 2016, espaçamento de 0,17 m entre linhas, sem adubação. O controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi efetuado conforme as indicações técnicas para a cultura da soja (EMBRAPA, 2013).

Os tratamentos Aveia-Floresta e Aveia Solteira, por ocasião da cultura da aveia, receberam animais pouco antes da data da coleta. Mas, optou-se pela análise das culturas sem a presença do componente animal no sistema, e, para tanto, foram colocadas gaiolas de exclusão nos locais pré-estabelecidos para abertura das trincheiras.

3.2.2 Coleta e Análises de Solo

As coletas de solo foram realizadas em fevereiro (pasto e soja) e setembro (aveia branca) de 2016. A abertura das trincheiras foi realizada transversalmente a linha de plantio com o auxílio de miniescavadeira (Bob-Cat). As coletas foram realizadas em trincheiras (Figura 2). Para cada tratamento integrado foram abertas duas linhas de trincheiras, ou seja, seis trincheiras por tratamento (duas por distância do renque). Foram abertas duas trincheiras para cada tratamento solteiro. Uma face de cada trincheira, com dois perfis foram utilizadas para todas as coletas de amostras (com a estrutura preservada e sem a estrutura preservada), totalizando quatro repetições por tratamento. Para os sistemas, aveia, pasto e soja solteiros, as trincheiras foram abertas em um ponto representativo da área.

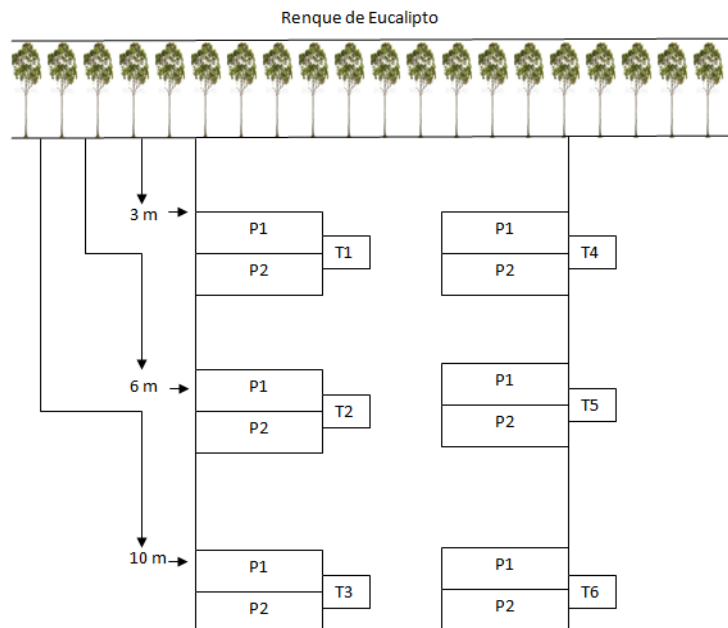


Figura 2. Esquema da coleta de raízes nos Tratamentos de Integração, onde P1 = Perfil 1; P2 = Perfil 2; T1 = Trincheira 1; T2 = Trincheira 2; T3= Trincheira 3; T4 = Trincheira 4; T5 = Trincheira 5; T6 = Trincheira 6.

Fonte: Natassia Armacolo

O nivelamento da parede do perfil rente à planta foi realizado com uma pá reta, e foram coletadas amostras de solo com estruturas preservadas e sem estrutura

preservada nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade.

Para densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade foram coletadas amostras com estruturas preservadas. A densidade foi obtida pelo método do anel volumétrico (100 cm³), e, a porosidade total, macro e microporosidade foram determinadas através da mesa de tensão, conforme Claessen (1997).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, com agitação lenta com a utilização da solução de hidróxido de sódio (NaOH 2N) como dispersante químico, conforme Embrapa 1997.

Para determinação da argila dispersa em água, foi utilizado o mesmo procedimento da granulometria, porém, sem o NaOH. O índice de dispersão (ID) foi calculado a partir da equação: $ID (g\ kg^{-1}) = ((argila\ dispersa / argila\ total) \times 100) \times 10$ (TAVARES FILHO, 2013).

As análises químicas realizadas foram: determinação do pH em água (1:2,5) e em KCl (1N), Ca e Mg, extraídos por KCl (1N) e titulados por EDTA, e P e K por extração Mehlich⁻¹ e quantificação em espectrofotômetro a 630 nm e no fotômetro de chama, respectivamente.

3.2.3 Coleta e Análise de Raízes

Após a amostragem de solo, o perfil da trincheira foi novamente nivelado e as coletas de raízes foram realizadas em monólitos,

Os monólitos de solo nos sistemas compostos por soja e a pastagem foram amostrados com dimensões 0,45 m de largura, 0,07 m de espessura e 0,10 m de profundidade, e os monólitos de solo dos sistemas compostos aveia foram coletados com dimensões 0,51 m de largura, 0,07 m de espessura e 0,10 m de profundidade.

As amostras foram coletadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m de profundidade. Posteriormente, foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e levadas ao Laboratório de Manejo do Solo da Embrapa Soja.

As raízes foram então separadas e limpas com o auxílio de peneira com malha de 2,0 mm e jato d'água com baixa pressão, para que qualquer fragmento de solo e de matéria orgânica presente nas amostras fosse retirado (BÖHM, 1979). Para o armazenamento

das raízes foram utilizados frascos “Snapcap”, contendo álcool 70%, os quais foram mantidos sob refrigeração até o processamento.

Para o processamento e digitalização das raízes foi utilizado o Scanner HP 3400 e, aproximadamente 10% do volume de raízes amostrado foram distribuídos uniformemente sobre placa de vidro com auxílio de pinça. Para determinação da matéria seca, após a digitalização, as raízes amostradas e não amostradas para a digitalização foram colocadas em beckers e levadas à estufa (60°C) até peso constante.

A partir das imagens digitalizadas, foi determinado o comprimento, área superficial e o diâmetro de cada amostra, através do software Safira® versão 2.0. Devido à alta variação do diâmetro dentro e entre uma mesma fibra radicular, o diâmetro foi calculado com a média ponderada em relação ao comprimento radicular correspondente a cada classe de diâmetro. Para quantificar a área superficial foi levado em consideração a massa seca total (digitalizada + não digitalizada) e o volume de cada monólito de solo.

Para calcular o comprimento das raízes foi utilizada a seguinte fórmula: $\text{Comprimento (cm cm}^{-3}) = ((\Sigma \text{ comprimento digitalizado} \times \text{ massa seca total}) / (\text{Massa seca raiz digitalizada}) \times \text{área de coleta (m}^3))$.

E no cálculo do diâmetro de raiz foi utilizada a seguinte fórmula:

$\text{Diâmetro (mm)} = (\text{diâmetro da fibra} / \text{soma de todos os volumes}) / \text{volume da fibra}$.

3.2.4 Avaliação da Planta

A determinação do rendimento de grãos da cultura da soja foi avaliada em duas linhas de cinco metros. O rendimento de grãos (kg ha^{-1}) foi corrigido para 13% de umidade para a comparação entre os tratamentos. A fitomassa (kg ha^{-1}) da aveia foi obtida através do corte em área de $0,25\text{m}^2$ e para o pasto em área de 1 m^2 .

3.2.5 Análise Estatística

Os dados foram testados quanto aos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variância pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Caso atendido, a análise de variância (ANAVA) em esquema fatorial 3x5 foi aplicada, testando os fatores distância dos renques de eucalipto (3, 6 e 10m) e profundidade (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m). Nos casos em que os pressupostos da ANAVA não foram atendidos, a transformação de Box-Cox foi utilizada e os pressupostos

testados novamente. Adicionalmente, uma área agrícola de referência (Tratamentos Solteiros) foi comparada aos tratamentos pelo teste de Dunnett à 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas utilizando o software R, versão 3.2.2 (R Core Team, 2014).

Os dendrogramas foram construídos com base na matriz de similaridade, construída em relação à distância Euclideana utilizando as variáveis, comprimento, área, volume e diâmetro das raízes, análises físicas (densidade do solo, porosidade, granulometria e argila dispersa em água) e químicas (N, P, K, Ca, Mg e pH) nas profundidades (0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em 5 subitens: atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular da aveia-floresta; atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular do pasto-floresta; atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular da soja-floresta; produtividades das culturas; e dendrogramas de similaridade.

3.3.1 Atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular da aveia-floresta

Os fatores não apresentaram interação significativa, e devido a este motivo foram analisados apenas os efeitos simples dos atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular para os tratamentos aveia-floresta e aveia solteira.

A densidade do solo (DS) não apresentou diferenças nas três distâncias avaliadas e, os maiores valores foram obtidos nas camadas superficiais (Tabela 2). Esses resultados corroboram com os encontrados por Silva et al. (2016), que verificaram no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta com cultivo de plantas anuais e consórcio de forrageiras, na distância de 10 m do renque de eucalipto, menor densidade na camada de 0,30-0,40 m.

O sistema integrado não apresentou diferenças nas camadas quando comparada à aveia solteira (Tabela 2). Esses resultados divergem dos encontrados por Loss et al., (2014), em que verificaram, em algumas camadas do solo, menores valores de DS nos sistemas integrados quando comparados aos monocultivos.

Nos valores médios de macroporosidade do solo (MAP), apresentados na tabela 2, observou-se que houve diferença entre as três distâncias avaliadas, sendo a menor MAP encontrada na distância de 6 m do renque de eucalipto. A distância de 3 m, no sistema

aveia-floresta, nas camadas de 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m apresentaram maiores MAP em relação ao sistema solteiro.

A microporosidade do solo (MIP) não apresentou diferenças nas três distâncias do renque de eucalipto e, as camadas não diferiram entre si. (Tabela 2). O sistema aveia-floresta, na distância de 10 m do renque de eucalipto, na camada de 0,10-0,20 m, obteve MIP inferior à aveia solteira, o mesmo comportamento aconteceu para a distância de 3 m, na profundidade de 0,20-0,30 m.

A relação entre macro e microporosidade, em parte, é responsável pela capacidade do solo em reter água e disponibilizá-la às plantas, sendo que a quantidade de macroporos influencia o crescimento das raízes e absorção de água e nutrientes. Solos com macroporosidade reduzida induzem a um crescimento lateral das raízes, que diminuem seus diâmetros com o intuito de penetrarem nos poros menores (AGUIAR, 2008).

Assim, como a microporosidade do solo, a porosidade total (PT) não apresentou diferença entre as distâncias (Tabela 2). A camada de 0,40-0,60 m apresentou PT superior à camada de 0,10-0,20 m. A PT foi semelhante nos sistemas integrado e solteiro. As proximidades dos valores de PT podem estar relacionadas ao fato de não ter ocorrido revolvimento contínuo do solo, assim como em função do sistema radicular das culturas e de invertebrados edáficos, que podem ter contribuído para melhoria da sua estruturação física (SANTOS et al., 2011).

Tabela 2. Atributos físicos do solo nos sistemas aveia-floresta e aveia solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
Densidade do solo (g cm ³)							
Aveia-Floresta	3 m	1,374 ^{ns2}	1,415 ^{ns}	1,301 ^{ns}	1,198 ^{ns}	1,212 ^{ns}	1,299 A
	6 m	1,382 ^{ns}	1,366 ^{ns}	1,285 ^{ns}	1,230 ^{ns}	1,230 ^{ns}	1,298 A
	10 m	1,312 ^{ns}	1,385 ^{ns}	1,285 ^{ns}	1,206 ^{ns}	1,037 ^{ns}	1,245 A
	Média	1,356 a ¹	1,388 a	1,290 ab	1,211 bc	1,159 c	
	Aveia Solteira	1,330	1,339	1,3	1,212	1,173	
	C.V (%)	6,56					
Macroporosidade do solo (Poros > 50 um)							
Aveia-Floresta	3 m	4,540 ^{ns}	4,745 ^{ns}	5,048 ^{*3}	8,123 [*]	7,544 ^{ns}	6,00 A
	6 m	4,489 ^{ns}	2,690 ^{ns}	3,075 ^{ns}	4,346 ^{ns}	4,216 ^{ns}	3,702 B
	10 m	8,083 ^{ns}	4,716 ^{ns}	3,322 ^{ns}	6,034 ^{ns}	6,360 ^{ns}	5,702 A
	Média	5,704 a	4,050 a	3,815 a	6,167 a	6,040 a	
	Aveia Solteira	5,774	1,685	2,306	4,279	5,848	

C.V (%)		40,62					
Microporosidade do solo (Poros < 50 um)							
Aveia-Floresta	3	42,410 ^{ns}	44,637 ^{ns}	46,486 [*]	45,624 ^{ns}	45,795 ^{ns}	44,990 A
	6	45,462 ^{ns}	45,190 ^{ns}	48,069 ^{ns}	48,471 ^{ns}	48,081 ^{ns}	47,054 A
	10	41,889 ^{ns}	42,208 [*]	44,566 ^{ns}	45,516 ^{ns}	61,527 ^{ns}	47,143 A
	Média	43,257 a	44,011 a	46,373 a	46,537 a	51,800 a	
	Aveia Solteira	45,054					
C.V (%)		17,83	46,223	49,099	48,581	48,115	
Porosidade Total							
Aveia-Floresta	3	46,950 ^{ns}	49,382 ^{ns}	51,534 ^{ns}	53,747 ^{ns}	53,339 ^{ns}	50,990 A
	6	49,951 ^{ns}	47,855 ^{ns}	51,144 ^{ns}	52,817 ^{ns}	52,297 ^{ns}	50,812 A
	10	49,983 ^{ns}	45,805 ^{ns}	47,887 ^{ns}	51,550 ^{ns}	67,887 ^{ns}	52,622 A
	Média	48,961 ab	47,680 b	50,188 ab	52,704 ab	57,841 a	
	Aveia Solteira	50,828	47,909	51,406	52,860	53,963	
C.V (%)		15,71					
Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)							
Aveia-Floresta	3	182,180 ^{ns}	178,745 ^{ns}	120,181 ^{ns}	58,065 ^{ns}	2,587 ^{ns}	108,351 A
	6	145,393 ^{ns}	172,599 ^{ns}	125,110 ^{ns}	20,746 ^{ns}	0,000 ^{ns}	92,769 A
	10	159,916 ^{ns}	118,588 ^{ns}	98,134 ^{ns}	38,713 ^{ns}	12,931 ^{ns}	85,656 A
	Média	162,496 a	156,644 a	114,474 a	39,174 b	5,172 b	
	Aveia Solteira	195,285	188,617	151,688	71,252	19,461	
C.V (%)		52,3					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

As três distâncias avaliadas não apresentaram diferenças no índice de dispersão de argila em água (ADA) (Tabela 2). O sistema aveia-floresta obteve maiores índices de ADA até a profundidade de 0,20-0,30 m. O sistema integrado não diferiu do solteiro, nas cinco camadas.

Houve variação do teor de N entre as camadas avaliadas (Tabela 3). A camada superficial apresentou maior teor em relação às camadas subsuperficiais. A distância de 3 m, na camada de 0,10- 0,20 m apresentou menor teor de N quando comparada ao sistema solteiro, as demais camadas e distâncias foram similares ao solteiro.

Tabela 3. Atributos químicos do solo nos sistemas aveia-floresta e aveia solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
N (%)							
Aveia-Floresta	3	0,200 ^{ns 2}	0,150 ^{*3}	0,112 ^{ns}	0,096 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,127 B
	6	0,231 ^{ns}	0,173 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,100 ^{ns}	0,084 ^{ns}	0,141 A

	10	0,208 ^{ns}	0,182 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,142 A
	Média	0,212 a ¹	0,168 b	0,12 c	0,102 d	0,081 e	
	Aveia Solteira	0,223	0,179	0,12	0,091	0,08	
	C.V (%)	10,76					
K (cmol dcm ³)							
	3	0,241 ^{ns²}	0,232 ^{ns}	0,151 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,029 ^{ns}	0,146 AB
	6	0,346 ^{ns}	0,261 ^{ns}	0,166 ^{ns}	0,077 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,176 A
	10	0,264 ^{ns}	0,201 ^{ns}	0,130 ^{ns}	0,069 ^{ns}	0,034 ^{ns}	0,139 B
Aveia-Floresta	Média	0,283 a ¹	0,231 b	0,149 c	0,074 d	0,031 d	
	Aveia Solteira	0,334	0,312	0,214	0,138	0,081	
	C.V (%)	27,72					
Ca (mg kg)							
	3	1106,763 ^{ns²}	1126,250 ^{ns}	1021,425 ^{ns}	993,863 ^{ns}	922,650 ^{ns}	1034,190 A
	6	1072,025 ^{ns}	1019,425 ^{*³}	955,963 [*]	892,663 [*]	943,388 ^{ns}	976,629 A
	10	1078,225 ^{ns}	955,525 [*]	957,413 [*]	911,750 [*]	953,038 ^{ns}	971,190 A
Aveia-Floresta	Média	1085,67 a ¹	1033,733 ab	978,266 ab	932,758 b	939,691 b	
	Aveia Solteira	1330,250	1348,750	1220	1150,25	1170,125	
	C.V (%)	10,06					
pH (CaCL ₂)							
	3 m	5,200 ^{ns²}	5,350 ^{ns}	5,575 ^{ns}	5,650 ^{ns}	5,700 ^{ns}	5,495 A
	6 m	5,163 ^{ns}	5,400 ^{ns}	5,563 ^{ns}	5,675 ^{ns}	5,738 ^{ns}	5,507 A
	10 m	5,038 ^{ns}	5,313 ^{ns}	5,475 ^{ns}	5,613 ^{ns}	5,650 ^{ns}	5,417 A
Aveia-Floresta	Média	5,133 c ¹	5,354 b	5,536 ab	5,645 a	5,695 a	
	Aveia Solteira	5,200	5,425	5,638	5,725	5,775	
	C.V (%)	3,33					
P (mg dcm ³)							
	3	22,700 ^{ns²}	11,050 ^{ns}	6,936 ^{ns}	7,808 ^{ns}	8,620 ^{ns}	11,402 A
	6	25,408 ^{ns}	7,266 ^{ns}	7,118 ^{ns}	8,281 ^{ns}	8,455 ^{ns}	11,305 A
	10	21,979 ^{ns}	6,441 ^{ns}	6,814 ^{ns}	7,804 ^{ns}	9,852 ^{ns}	10,578 A
Aveia-Floresta	Média	23,362 a ¹	8,252 b	6,956 b	7,931 b	8,975 b	
	Aveia Solteira	21,424	6,641	6,554	7,63	7,908	
	C.V (%)	33,51					
Mg (mg kg)							
	3 m	276,400 ^{ns²}	266,713 ^{ns}	274,963 ^{ns}	273,850 ^{ns}	258,083 ^{ns}	270,001 A
	6 m	308,113 ^{ns}	250,850 ^{ns}	275,988 ^{ns}	269,775 ^{ns}	261,113 ^{ns}	273,167 A
	10 m	277,450 ^{ns}	225,638 ^{*³}	251,788 ^{ns}	241,388 ^{ns}	233,988 ^{ns}	246,05 A
Aveia-Floresta	Média	287,32 a ¹	247,733 b	267,579 ab	261,670 b	251,061 b	
	Aveia Solteira	307,300	274,75	268,038	254,175	233,813	
	C.V (%)	8,04					
H+AL							
	3	5,786 ^{ns²}	4,874 ^{ns}	4,133 ^{ns}	4,213 ^{ns}	4,021 ^{ns}	4,605 AB
	6	6,074 ^{ns}	4,713 ^{ns}	4,039 ^{ns}	3,890 ^{ns}	3,730 ^{ns}	4,489 B
	10	6,483 ^{ns}	5,124 ^{ns}	4,540 ^{ns}	4,208 ^{ns}	3,980 ^{ns}	4,866 A
Aveia-Floresta	Média	6,114 a ¹	4,903 b	4,237 c	4,103 c	3,910 c	

Aveia Solteira	6,25	4,92	4,053	3,825	3,615
C.V (%)	7,85				

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

O nitrogênio (N) é o elemento mais abundante na atmosfera terrestre (em torno de 70%). Nas plantas é componente responsável por várias reações além de fazer parte da estrutura da clorofila, de enzimas e proteínas. Por ser elemento essencial, seu balanço afeta a formação de raízes, fotossíntese, produção e translocação de fotoassimilados e a taxa de crescimento entre folhas e raízes, sendo o crescimento foliar primeiramente afetado (TAIZ; ZIEGER, 2010). A consequência disso é a diminuição do crescimento das plantas e da produtividade.

No sistema aveia-floresta houve diferenças entre as três distâncias do renque de eucalipto, onde a maior concentração de potássio do solo (K) foi na distância de 6 m e a menor na de 10 m (Tabela 3). Na camada de 0,00-0,10 m houve maior teor de K em relação às demais. Oliveira et al. (2004) observaram que as gramíneas são as plantas que promovem maiores acúmulos de K no solo, e que na camada de 0,05 m, esses resultados discordam dos encontrados na presente pesquisa com maior teor de K até a profundidade de 0,10 m. Os sistemas integrado e solteiro tiveram comportamento similar no teor de K nas cinco camadas avaliadas.

Nas três distâncias do renque de eucalipto, o teor de Cálcio do solo (Ca) não diferiu (Tabela 3). Entretanto, a camada de 0,00-0,10 m, no sistema integrado, apresentou maior teor de Ca e as camadas de 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m menores teores. No sistema solteiro, verificou que as camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, apresentaram maiores teores de Ca em relação ao sistema de aveia com eucalipto.

No sistema integrado, o pH do solo apresentou comportamento semelhante nas três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 3). Os maiores valores de pH do solo foram obtidos nas camadas subsuperficiais. Todavia, nas cinco camadas, no sistema aveia-floresta, o pH não apresentou diferença, comparativamente à aveia solteira.

Nas três distâncias do renque de eucalipto não houve diferenças para os teores de fósforo (P) (Tabela 3). Na camada de 0,00-0,10 m, no sistema aveia-floresta constatou-se maior teor de P e, as demais camadas não diferenciaram-se entre si. De maneira similar ao observado para o pH do solo, os teores de P do sistema integrado não se diferenciaram do sistema solteiro, nas camadas avaliadas.

O teor de magnésio do solo (Mg), também não apresentou diferenças nas três distâncias (Tabela 3). Contudo, o sistema aveia-floresta, obteve o mesmo comportamento do Ca nas camadas avaliadas. Na distância de 10 m, na camada de 0,10-0,20 m, houve menor teor de Mg em relação ao sistema solteiro.

Houve diferença nas médias de acidez potencial nas três distâncias do renque de eucalipto e, a distância de 6 m apresentou menor acidez potencial e a de 10 m a maior (Tabela 3). Em relação às camadas do solo, a acidez potencial apresentou maiores médias nas profundidades superficiais. Os sistemas integrados e solteiros apresentaram comportamento similar nas camadas avaliadas.

Não houve diferença no comprimento de raízes da aveia nas três distâncias avaliadas no sistema aveia-floresta (Tabela 4). Verifica-se pelos dados médios encontrados que a camada de 0,00-0,10 m apresentou maior comprimento radicular, as demais camadas não se diferenciaram. Segundo Libardi; Van Lier (1999) a profundidade de enraizamento é um indicador importante de qualidade do sistema radicular.

O sistema aveia-floresta ao ser comparado com o sistema solteiro na camada de 0,00-0,10 m apresentou menor comprimento de raízes de aveia nas distâncias de 3 e 10 m (Tabela 4).

A extensão do sistema radicular depende das condições químicas e físicas do solo. Costa et al., (1999) relatam que a presença de alumínio tóxico e deficiência de cálcio são os fatores químicos mais restritivos ao desenvolvimento radicular das plantas. Não se observou a presença de Al no solo, e os teores de Ca, assim como o comprimento de raízes de aveia, não variaram com as distâncias.

A elevada concentração de P induz a formação de um sistema radicular mais longo e com raízes mais finas, que seriam mais eficientes na absorção de água e nutrientes (VILELA; ANGHINONI, 1984). Apesar da variação do teor de P (Tabela 3) nas camadas abaixo de 0,10-0,20 m, o comprimento radicular de raízes da aveia não apresentou diferença, uma vez que os teores de P estavam elevados.

A porcentagem de N total (Tabela 3) não apresentou influência nos resultados de comprimento, área e diâmetro de raízes de aveia para os sistemas integrado e solteiro. Entretanto, a distância de 3 m do renque apresentou menor quantidade de N, mas o comportamento radicular não teve variação em relação às demais.

A maior presença de raízes na profundidade de 0,00-0,10 m também pode ser influenciada pelas concentrações de nutrientes na superfície do solo (SARMENTO et al., 2008). Em relação às limitações físicas do solo, a maioria dos vegetais não é capaz de

desenvolver suas raízes em profundidade quando há elevada compactação (SHEORAN et al., 2010).

Tabela 4. Avaliações radiculares nos tratamentos Aveia-Floresta e Aveia Solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias do renque de eucalipto (m). Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
Comprimento de raízes (cm cm ⁻³)							
Aveia-Floresta	3	14,854 * ³	10,383 ^{ns}	4,591 ^{ns}	3,995 ^{ns}	7,656 ^{ns}	8,295 A
	6	22,211 ^{ns 2}	8,76 ^{ns}	4,333 ^{ns}	4,975 ^{ns}	7,97 ^{ns}	9,649 A
	10	20,553 *	3,826 ^{ns}	6,177 ^{ns}	4,529 ^{ns}	7,409 ^{ns}	8,499 A
	Média	19,206 a ¹	7,656 b	5,033 b	4,499 b	7,678 b	
	Aveia Solteira	37,796	6,794	7,364	6,115	9,844	
	C.V (%)	60,89					
Área superficial radicular (m ² m ⁻³)							
Aveia-Floresta	3	25,314 *	14,442 *	6,36 ^{ns}	6,893 ^{ns}	7,713 ^{ns}	12,144A
	6	41,808 *	12,846 *	5,418 ^{ns}	6,591 ^{ns}	8,484 ^{ns}	15,029A
	10	32,853 *	5,238 *	8,331 ^{ns}	6,087 ^{ns}	10,125 ^{ns}	12,526A
	Média	33,325 a	10,842 ab	6,703 b	6,507 ab	8,774 b	
	Aveia Solteira	75,963	9,48	8,604	6,567	10,296	
	C.V (%)	133,06					
Diâmetro de raízes (mm)							
Aveia-Floresta	3	2,006 ^{ns}	1,059 ^{ns}	1,027 ^{ns}	2,177 ^{ns}	1,041 ^{ns}	1,462 A
	6	2,068 ^{ns}	1,054 ^{ns}	1,033 ^{ns}	1,037 ^{ns}	1,044 ^{ns}	1,247 A
	10	2,30 ^{ns}	1,03 ^{ns}	1,055 ^{ns}	1,034 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,293 A
	Média	2,124 a	1,047 a	1,038 a	1,412 a	1,045 a	
	Aveia Solteira	2,33	1,051	1,049	1,043	1,069	
	C.V (%)	123,4					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

Independentemente do tipo de metodologia utilizada (trado, anel volumétrico e placa de pregos), a maior concentração de raízes de aveia forrageira se deu nas camadas iniciais, ou seja, até 0,20 m (FONTE JR. et al, 1999).

A área de raízes de aveia no sistema integrado não apresentou diferença significativa nas três distâncias avaliadas (Tabela 4). Contudo, a camada de 0,00-0,10 m obteve maior área de raízes em relação às camadas de 0,20-0,30 m e 0,40-0,60 m.

Em geral, os resultados de área superficial estão associados ao comprimento radicular das culturas. Anghinoni; Meurer (1999) observaram que as raízes longas e finas resultam em maior área superficial e, conseqüentemente, estão mais aptas em absorver água e

nutrientes.

No sistema aveia-floresta, não houve diferença no diâmetro de raízes da aveia nas três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 4) e não diferiu nas cinco camadas, indicando que houve uma distribuição uniforme do diâmetro no perfil do solo.

Para diâmetro de raízes, não houve diferença nas camadas do sistema aveia-floresta, comparativamente às camadas do sistema solteiro (Tabela 4). De acordo com Freddi et al. (2009), o diâmetro das raízes sofre interferência do meio em que crescem, quanto maior for a resistência encontrada para o seu desenvolvimento maior será o seu diâmetro, devido um achatamento da célula e aumento da área de membranas. Neste contexto, solos que apresentam maior resistência à penetração teriam como consequência raízes com diâmetros mais espessos. Os resultados obtidos na presente pesquisa demonstram que o diâmetro de raízes de aveia não foi influenciado pelo ambiente.

3.3.2 Atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular do pasto-floresta

Os fatores não apresentaram interação significativa, e devido a este motivo foram analisados apenas os efeitos simples dos atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular para os tratamentos pasto-floresta e pasto solteiro.

As três distâncias do renque de eucalipto não apresentaram diferenças na densidade do solo e, os maiores valores foram observados nas camadas superficiais (Tabela 5). No sistema, pasto-floresta não houve diferenças entre as camadas avaliadas, comparativamente ao sistema solteiro.

Tabela 5. Atributos físicos do solo nos sistemas pasto-floresta e pasto solteiro em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
Densidade do solo (g/cm ³)							
Pasto-Floresta	3 m	1,325 ^{ns2}	1,284 ^{ns}	1,165 ^{ns}	1,130 ^{ns}	1,144 ^{ns}	1,209 A
	6 m	1,317 ^{ns}	1,271 ^{ns3}	1,179 ^{ns}	1,158 ^{ns}	1,140 ^{ns}	1,213 A
	10 m	1,361 ^{ns}	1,328 ^{ns}	1,242 ^{ns}	1,176 ^{ns}	1,117 ^{ns}	1,244 A
	Média	1,334 ^{a1}	1,294 ^a	1,195 ^b	1,154 ^{bc}	1,133 ^c	
	Pasto Solteiro	1,342	1,365	1,191	1,172	1,159	
	C.V (%)	3,83					
Macroporosidade do solo (Poros > 50 um)							
Pasto-Floresta	3 m	5,095 ^{ns}	5,204 ^{ns}	8,068 ^{*3}	7,902 ^{ns}	8,773 ^{ns}	7,008 A
	6 m	4,952 ^{ns}	6,124 ^{ns}	6,404 ^{ns}	5,942 ^{ns}	6,658 ^{ns}	6,016 AB

	10 m	5,080 ^{ns}	4,626 ^{ns}	5,152 ^{ns}	4,234 [*]	4,666 ^{ns}	4,751 B
	Média	5,042 a	5,318 a	6,541 a	6,026 a	6,699 a	
	Pasto Solteiro	5,647	5,052	5,077	7,634	7,269	
	C.V (%)	29,13					
Microporosidade do solo (Poros < 50 um)							
Pasto-Floresta	3	45,736 ^{ns}	46,898 [*]	47,029 ^{ns}	46,259 ^{ns}	46,097 ^{ns}	46,403A
	6	49,283 ^{ns}	45,759 ^{ns}	46,627 ^{ns}	46,524 ^{ns}	46,445 ^{ns}	46,937A
	10	44,997 ^{ns}	45,052 ^{ns}	46,764 ^{ns}	49,317 [*]	49,312 [*]	45,888A
	Média	46,672 a	45,903 a	46,806 a	47,366 a	47,288 a	
	Pasto Solteiro	44,025	44,047	46,635	46,432	46,272	
	C.V (%)	4,39					
Porosidade total							
Pasto-Floresta	3 m	50,830 ^{ns}	52,103 [*]	55,098 [*]	54,161 ^{ns}	54,870 ^{ns}	53,412 A
	6 m	54,235 ^{ns}	51,884 [*]	53,032 ^{ns}	52,467 ^{ns}	53,104 ^{ns}	52,944 A
	10 m	50,007 ^{ns}	49,678 ^{ns}	51,916 ^{ns}	53,551 ^{ns}	53,978 ^{ns}	51,839 A
	Média	51,713 ab	51,221 b	53,348 ab	53,393 ab	53,983 a	
	Pasto Solteiro	49,672	49,099	49,711	54,066	53,540	
	C.V (%)	4,31					
Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)							
Pasto-Floresta	3	185,872 ^{ns}	173,394 ^{ns}	36,201 ^{ns}	7,760 [*]	2,583 ^{ns}	81,161 A
	6	196,517 ^{ns}	163,620 ^{ns}	10,384 [*]	19,377 [*]	7,725 ^{ns}	82,863 A
	10	199,269 ^{ns}	199,728 ^{ns}	43,912 [*]	10,384 [*]	37,538 ^{ns}	98,166 A
	Média	193,885 a	178,914 a	35,730 b	12,507 b	15,948 b	
	Pasto Solteiro	257,491	170,324	155,77	86,566	29,731	
	C.V (%)	54,59					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

No sistema integrado, a distância de 3 m do renque de eucalipto apresentou maior macroporosidade do solo, a de 10 m a menor e, as camadas avaliadas não diferiram entre si (Tabela 5). Na distância de 3 m, a camada de 0,20-0,30 m, obteve maior MAP em relação ao sistema solteiro. No sistema pasto-floresta, a distância de 10 m, na camada de 0,30-0,40 m, apresentou menor MAP, quando comparado ao pasto solteiro.

As três distâncias avaliadas não apresentaram variações na microporosidade do solo e, o comportamento em relação a mesma foi semelhante nas cinco camadas (Tabela 5). No sistema integrado, a distância de 3 m do renque de eucalipto, na camada 0,10-0,20 m, apresentou valor médio superior ao pasto solteiro, o mesmo comportamento foi observado para a distância 10 m, nas camadas de 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m.

A porosidade total não apresentou diferença nos dados médios nas três distâncias do renque de eucalipto e, a camada de 0,10-0,20 m apresentou PT superior à de

0,40-0,60 m (Tabela 5). No sistema integrado, a distância de 3 m, nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, a PT foi superior ao sistema solteiro e, a distância de 6 m do renque obteve maior valor de PT, comparada ao pasto solteiro.

O sistema integrado não apresentou diferenças na dispersão de argila em água nas distâncias avaliadas (Tabela 5). As camadas superficiais do solo apresentaram maior índice de dispersão de argila. O sistema pasto-floresta, nas três distâncias do renque obteve valores médios inferiores ao sistema solteiro, nas camadas de 0,20-0,30, 0,30-0,40 m.

O maior teor de N foi observado na distância de 6 m do renque de eucalipto (Tabela 6). A camada de 0,00-0,10 m obteve maior teor de N e, a de 0,30-0,40 m, o menor. Esse comportamento também foi observado ao comparar os sistemas, em que, na camada de 0,00-0,10 m, as distâncias de 3 e 10 m, apresentaram menores teores de N e, na camada 0,30-0,40 m, as três distâncias apresentaram teores de N inferiores ao pasto solteiro.

Tabela 6. Atributos químicos do solo nos sistemas pasto-floresta e pasto solteiro em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
N (%)							
Pasto-Floresta	3	0,177 * ³	0,154 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,072 *	0,111 ^{ns}	0,124 B
	6	0,230 ^{ns2}	0,149 ^{ns}	0,132 ^{ns}	0,082 *	0,177 *	0,153 A
	10	0,172 *	0,127 ^{ns}	0,094 ^{ns}	0,069 *	0,116 ^{ns}	0,115 B
	Média	0,192 a ¹	0,142 b	0,111 bc	0,074 c	0,134 ab	
	Pasto Solteiro	0,248	0,154	0,119	0,102	0,088	
	C.V (%)	28,6					
K (cmol/dm ³)							
Pasto-Floresta	3	0,235 ^{ns}	0,166 *	0,084 ^{ns}	0,081 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,123 A
	6	0,177 ^{ns}	0,156 *	0,064 ^{ns}	0,026 *	0,029 ^{ns}	0,090 A
	10	0,193 ^{ns}	0,121 *	0,052 ^{ns}	0,042 ^{ns}	0,021 *	0,085 A
	Média	0,201 a	0,147 a	0,066 b	0,049 b	0,034 b	
	Pasto Solteiro	0,476	0,375	0,224	0,105	0,084	
	C.V (%)	57					
Ca (mg kg ³)							
Pasto-Floresta	3	900,513 ^{ns}	776,675 ^{ns}	746,738 ^{ns}	701,213 *	712,625 *	767,552 B
	6	866,700 ^{ns}	961,625 ^{ns}	829,563 ^{ns}	764,075 *	848,138 ^{ns}	854,020 A
	10	829,463 ^{ns}	836,100 ^{ns}	850,250 ^{ns}	801,100 *	792,538 *	821,89 AB
	Média	865,558 a	858,133 a	808,850 ab	755,462 b	784,433 ab	
	Pasto Solteiro	1127,000	1131,625	1043,038	1024,788	975,188	
	C.V (%)	9,21					
pH (CaCL ₂)							
Pasto-Floresta	3 m	4,963 *	5,000 ^{ns}	5,200 *	5,563 ^{ns}	5,313 ^{ns}	5,167 B

	6 m	5,100 ^{ns}	5,563 ^{ns}	5,450 ^{ns}	5,363 ^{ns}	5,613 ^{ns}	5,457 A
	10 m	4,938 [*]	5,150 ^{ns}	5,388 ^{ns}	5,575 ^{ns}	5,613 ^{ns}	5,332 AB
	Média	5,000 c	5,237 bc	5,345 ab	5,500 a	5,512 a	
	Pasto Solteiro	5,275	5,35	5,613	5,663	5,500	
	C.V (%)	4,12					
P (mg dm ³)							
Pasto-Floresta	3	8,854 ^{ns}	4,922 ^{ns}	4,627 ^{ns}	5,182 [*]	6,832 ^{ns}	6,083 A
	6	8,663 ^{ns}	3,325 ^{ns}	3,242 ^{ns}	4,861 ^{ns}	6,120 ^{ns}	5,242 A
	10	9,123 ^{ns}	5,191 ^{ns}	5,095 ^{ns}	4,479 ^{ns}	6,701 ^{ns}	6,083 A
	Média	8,880 a	4,479 c	4,321 c	4,840 bc	6,551 b	
	Pasto Solteiro	10,495	4,783	3,186	3,281	4,661	
	C.V (%)	27,95					
Mg (mg kg)							
Pasto-Floresta	3 m	302,638 ^{ns}	225,688 [*]	235,400 ^{ns}	218,825 [*]	208,150 [*]	238,140 B
	6 m	300,400 ^{ns}	271,775 ^{ns}	247,538 ^{ns}	252,388 ^{ns}	235,888 ^{ns}	261,597 A
	10 m	277,100 ^{ns}	242,225 ^{ns}	237,338 ^{ns}	246,100 [*]	206,750 [*]	241,902 B
	Média	293,379 a	246,562 b	240,091 bc	239,104 bc	216,929 c	
	Pasto Solteiro	318,600	280,65	294,213	285,763	269,813	
	C.V (%)	9,75					
H+AL							
Pasto-Floresta	3	6,354 ^{ns}	5,441 ^{ns}	4,668 ^{ns}	4,171 ^{ns}	4,171 ^{ns}	4,961 A
	6	5,981 ^{ns}	4,461 ^{ns}	4,226 ^{ns}	3,805 ^{ns}	3,569 ^{ns}	4,408 B
	10	6,238 ^{ns}	5,136 ^{ns}	4,393 ^{ns}	3,740 ^{ns}	3,864 ^{ns}	4,674 AB
	Média	6,190 a	5,012 b	4,428 c	3,905 cd	3,867 d	
	Pasto Solteiro	5,411	4,769	3,835	3,724	4,294	
	C.V (%)	10,03					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

No sistema pasto-floresta, o teor de K não diferiu entre as distâncias do renque de eucalipto (Tabela 6). Neste mesmo sistema, os maiores teores ocorreram nas camadas superficiais do solo. Nas camadas, de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m, nas três distâncias, se verificou menor teor de K, comparativamente ao sistema solteiro. Contudo, a camada de 0,30-0,40 m, na distância de 6 m, apresentou menor teor de K em relação ao pasto solteiro.

O teor de Ca foi alterado em função das distâncias do renque de eucalipto, a distância de 3 m obteve maior teor e a de 6 m o menor (Tabela 6). As camadas avaliadas apresentaram poucas diferenças de uma para a outra, sendo que as camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m obtiveram maiores concentrações de Ca e, a 0,30-0,40 m o menor. Independentemente da distância do renque, na camada de 0,30-0,40 m, o sistema solteiro apresentou maior teor de Ca, já na camada de 0,40-0,60 m, obteve maior teor de Ca somente em relação às distâncias de 3 e 6 m do renque de eucalipto.

No sistema braquiária com eucalipto, a distância de 6 m apresentou o maior pH do solo e a distância de 3 m o menor (Tabela 6). Nas camadas superficiais ocorreram os maiores valores de pH. Todavia, no sistema pasto-floresta, na camada de 0,00-0,10 m, as distâncias de 3 e 10 m, apresentaram menores valores de pH quando confrontado com o sistema solteiro. O pasto solteiro, na camada de 0,20-0,30 m, apresentou maior pH do solo em relação ao sistema integrado.

Os teores de P não apresentaram diferenças entre as três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 6). A maior concentração de P foi observada na camada de 0,00-0,10 m. Alguns autores comprovaram que o efeito dos resíduos vegetais de algumas coberturas sobre a dinâmica do P no Sistema Plantio Direto ocorre desde a implantação do sistema, principalmente na camada de 0,00-0,05 m, entretanto, os maiores efeitos são observados a longo prazo (MUZILLI, 1983; BARTZ, 1998; SÁ, 1993). No sistema pasto-floresta, na distância de 3 m, na camada de 0,30-0,40 m, foi observado maior teor P em relação ao sistema solteiro.

Semelhante ao pH do solo, o maior teor de Mg foi observado na distância de 6 m do renque de eucalipto (Tabela 6). Ao avaliar as camadas, o maior teor de Mg ocorreu na camada de 0,00-0,10 m. No sistema integrado, na distância de 3 m, nas camadas de 0,10-0,20, 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m observou-se menores teores de Mg comparativamente ao sistema solteiro.

No sistema pasto-floresta, a distância de 3 m, apresentou maior acidez potencial e, a de 6 m a menor (Tabela 6). As camadas superficiais obtiveram maior acidez potencial. Nos sistemas integrado e solteiro não houve diferença de acidez potencial, para as cinco camadas avaliadas.

Nos sistemas integrados de pasto ou culturas com florestas, as árvores podem competir por água e nutrientes (FRANCHINI et al., 2014). Entretanto, nesta pesquisa a distância de 3 m do renque de eucalipto apresentou maior comprimento de raízes de aveia e a de 10 m menor. Neste caso, o fator ambiental mais limitante ao crescimento pode ter sido a luminosidade e não a competição por água e nutrientes. É importante ressaltar que os renques de eucaliptos não foram implantados no sentido leste-oeste, e sim acompanhando a base inferior do terraço (Tabela 7).

O sombreamento pode interferir no crescimento e no desenvolvimento da parte aérea e especialmente das raízes, havendo menor crescimento de ambas, quando os níveis de radiação são inadequados, com o reflexo na redução da taxa fotossintética (GUENNI et al., 2008)

O comprimento de raízes da braquiária, nas três distâncias do renque de eucalipto, na camada de 0,10-0,20 m, apresentou comprimento inferior quando comparado ao sistema solteiro (Tabela 7). Observou-se maior densidade (Tabela 5) nesta profundidade em relação às demais e, esse aumento na densidade, pode ter afetado o crescimento radicular.

Tabela 7. Avaliações radiculares nos sistemas pasto-floresta e pasto solteiro em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
Comprimento de raízes (cm cm ³)							
Pasto-Floresta	3	33,791 ^{ns2}	5,99 8 ^{*3}	3,649 ^{ns}	4,926 ^{ns}	5,229 ^{ns}	10,716 A
	6	20,666 ^{ns}	3,607 [*]	2,035 ^{ns}	3,765 [*]	4,334 ^{ns}	6,881AB
	10	17,03 ^{ns}	2,329 [*]	2,567 ^{ns}	1,505 [*]	3,428 ^{ns}	5,537 B
	Média	23,829 a ¹	3,97 b	2,750 b	3,398 b	4,330 b	
	Pasto Solteiro	42,21	22,922	5,847	10,956	32,935	
	C.V (%)	76,13					
Área superficial de raízes (m m ²)							
Pasto-Floresta	3	70,116 ^{ns}	14,337 [*]	7,932 ^{ns}	13,038 ^{ns}	12,633 ^{ns}	23,611 A
	6	44,499 [*]	7,845 [*]	3,909 ^{ns}	6,837 ^{ns}	8,847 ^{ns}	14,387 B
	10	37,947 [*]	5,478 [*]	6,153 ^{ns}	3,378 [*]	7,966 ^{ns}	12,184 B
	Média	50,854 a	6,418 b	5,998 b	7,749 b	9,816 b	
	Pasto Solteiro	92,943	29,673	28,677	15,051	39,222	
	C.V (%)	59,37					
Diâmetro de raízes (mm)							
Pasto-Floresta	3	2,21 ^{ns}	1,031 [*]	1,024 [*]	1,027 ^{ns}	1,031 [*]	1,264 A
	6	1,085 [*]	1,022 [*]	1,013 [*]	1,023 [*]	1,026 [*]	1,033 B
	10	2,113 ^{ns}	1,017 [*]	1,018 [*]	1,01 [*]	1,022 [*]	1,236 AB
	Média	1,802 a	1,023 b	1,018 b	1,019 b	1,026 b	
	Pasto Solteiro	2,224	1,081	1,184	1,053	1,138	
	C.V (%)	83,87					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

A deficiência de cálcio é um fator que prejudica o desenvolvimento radicular das plantas. O sistema pasto-floresta na distância de 3 m do renque apresentou menor teor de Ca (Tabela 6) e maior comprimento de raízes de braquiária (Tabela 7). A variação do teor de Ca nas camadas não afetou o desenvolvimento radicular, pois, os teores de Ca estavam elevados nas três distâncias.

O P é um dos nutrientes mais importantes no estabelecimento de uma pastagem, pois é responsável pelo desenvolvimento radicular devido à sua intensa atividade meristemática, além de ser essencial para a divisão celular, pelo seu papel na estrutura dos

ácidos nucleicos (CANTARUTTI et al., 2002).

Considerando que o fósforo desempenha um papel importante no desenvolvimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas (LIRA et al., 1994), a sua deficiência reduz a taxa de crescimento inicial e o estabelecimento das forrageiras. Apesar da distância de 10 m do renque de eucalipto no sistema pasto-floresta apresentar menor comprimento de raízes de braquiária o teor de P não influenciou nesta variável, pois se verificou concentração de P elevado.

Houve diferença na área de raízes da braquiária entre as distâncias do renque de eucalipto, onde a maior área foi observada na distância de 3 m (Tabela 7). Nas camadas avaliadas, a camada de 0,00-0,10 m foi superior à área de raízes, em relação às demais.

No sistema pasto-floresta, nas distâncias de 6 e 10 m, na camada de 0,00-0,10 m, constatou-se as menores áreas de raízes da braquiária, comparativamente ao sistema solteiro (Tabela 7). Na camada de 0,10-0,20 m as três distâncias do renque apresentaram áreas de raízes inferiores ao pasto solteiro. No mesmo sistema, a distância de 10 m do renque obteve área de raízes da braquiária inferior ao solteiro.

No sistema pasto-floresta observou-se diferenças no diâmetro de raízes de braquiária nas distâncias avaliadas, a distância de 3 m expressou maior diâmetro de raízes e a de 6 m o menor (Tabela 7). O maior diâmetro de raiz de braquiária foi observado na camada de 0,00-0,10 m.

No sistema pasto-floresta, na distância de 6 m do renque de eucalipto, na camada de 0,00-0,10 m, observou-se o maior diâmetro de raízes de braquiária em relação ao sistema solteiro (Tabela 7). Nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, o sistema solteiro apresentou maiores diâmetro de raízes de braquiária quando comparada com a braquiária integrada com o eucalipto. As distâncias de 6 e 10 m obtiveram diâmetros de raízes de braquiária inferiores ao sistema solteiro, na camada de 0,30-0,40 m. Os sistemas apresentaram comportamento similar na camada de 0,40-0,60 m.

3.3.3 Atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular da soja-floresta

Os fatores não apresentaram interação significativa, e devido a este motivo foram analisados apenas os efeitos simples dos atributos físico-químicos do solo e crescimento radicular para os tratamentos soja-floresta e soja solteira.

A densidade do solo não apresentou diferenças nas três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 8). As camadas superficiais do solo apresentaram as maiores DS, e o sistema soja-floresta não diferiu do solteiro nas cinco camadas avaliadas.

No sistema integrado, a maior macroporosidade do solo foi observada na distância de 3 m do renque de eucalipto e, a menor na distância de 6 m (Tabela 8). A camada de 0,00-0,10 m apresentou MAP superior à camada de 0,10-0,20 m e, a distância de 3 m, nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m obteve MAP inferiores ao sistema soja solteira.

A microporosidade do solo não apresentou diferenças nas três distâncias do renque de eucalipto e, as camadas avaliadas obtiveram um comportamento gradativo (Tabela 8). No sistema soja-floresta, a distância de 3 m do renque de eucalipto, nas camadas de 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m expressaram valores médios de MIP inferiores ao sistema solteiro e, a distância 3 m teve o mesmo comportamento nas camadas de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m. Entretanto, a distância de 10 m apresentou menor MIP somente na camada de 0,30-0,40 m em relação ao sistema soja solteira.

Semelhante aos resultados obtidos na microporosidade do solo, a porosidade total também não apresentou variações nas três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 8). No sistema integrado, a camada de 0,40-0,60 m obteve a maior PT, e a camada de 0,10-0,20 m a menor e, os sistemas soja-floresta e soja solteira não apresentaram diferenças nas cinco camadas avaliadas.

As três distâncias do renque não apresentaram diferenças na dispersão de argila em água (Tabela 8). O sistema soja-floresta apresentou valores médios elevados de ADA até a camada de 0,30-0,40 m. No sistema integrado, as distâncias de 3 e 10 m, na camada de 0,30-0,40 m apresentaram valores de ADA superiores à soja solteira, o contrário aconteceu com as distâncias de 6 e 10 m na camada de 0,40-0,60 m que apresentaram valores médios inferiores ao sistema solteiro.

Tabela 8. Atributos físicos do solo nos sistemas soja-floresta e soja solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
Densidade do solo (g/cm ³)							
Soja-Floresta	3 m	1,315 ^{ns2}	1,322 ^{ns}	1,193 ^{ns}	1,149 ^{ns}	1,203 ^{ns}	1,235 A
	6 m	1,272 ^{ns}	1,366 ^{ns}	1,279 ^{ns}	1,214 ^{ns}	1,189 ^{ns}	1,263 A
	10 m	1,296 ^{ns}	1,349 ^{ns}	1,238 ^{ns}	1,163 ^{ns}	1,151 ^{ns}	1,239 A
	Média	1,294 ^{ab1}	1,345 ^a	1,234 ^{bc}	1,174 ^c	1,180 ^c	

	Soja Solteira	1,281	1,364	1,232	1,172	1,217	
	C.V (%)	4,73					
Macroporosidade do solo (Poros > 50 um)							
Soja-Floresta	3 m	8,709 ^{ns}	6,741 ^{*3}	8,970 [*]	10,665 [*]	8,713 ^{ns}	8,759 A
	6 m	8,076 ^{ns}	4,384 ^{ns}	5,423 ^{ns}	5,971 ^{ns}	7,263 ^{ns}	6,223 B
	10 m	8,181 ^{ns}	5,238 ^{ns}	5,047 ^{ns}	7,541 ^{ns}	9,055 ^{ns}	7,012 AB
	Média	8,322 a	5,454 b	6,479 ab	8,059 ab	8,343 a	
	Soja Solteira	4,299	3,741	2,738	4,153	6,206	
	C.V (%)	33,29					
Microporosidade do solo (Poros < 50 um)							
Soja-Floresta	3	44,297 ^{ns}	43,598 [*]	44,583 [*]	44,645 [*]	47,307 ^{ns}	44,885 A
	6	43,907 [*]	44,901 ^{ns}	46,339 [*]	47,294 ^{ns}	46,810 ^{ns}	45,850 A
	10	44,166 ^{ns}	44,858 ^{ns}	47,238 ^{ns}	46,094 [*]	46,714 ^{ns}	45,814 A
	Média	44,123 b	44,452 b	46,053 ab	46,010 ab	46,943 a	
	Soja Solteira	46,749	45,933	50,309	50,235	47,749	
	C.V (%)	3,72					
Porosidade total							
Soja-Floresta	3 m	53,006 ^{ns}	50,340 ^{ns}	53,553 ^{ns}	55,310 ^{ns}	54,073 ^{ns}	53,645 A
	6 m	51,982 ^{ns}	49,285 ^{ns}	51,762 ^{ns}	53,265 ^{ns}	56,020 ^{ns}	52,826 A
	10 m	52,348 ^{ns}	50,096 ^{ns}	52,285 ^{ns}	53,635 ^{ns}	55,769 ^{ns}	52,826 A
	Média	52,445 bc	49,906 c	52,533 bc	54,069 ab	55,287 a	
	Soja Solteira	51,048	49,674	53,047	54,388	53,955	
	C.V (%)	4,28					
Argila dispersa em água (g kg ⁻¹)							
Soja-Floresta	3	170,42 ^{ns}	188,434 ^{ns}	95,680 ^{ns}	91,971 [*]	162,464 ^{ns}	141,794 A
	6	139,237 ^{ns}	200,381 ^{ns}	202,908 ^{ns}	42,681 ^{ns}	12,909 [*]	129,293 A
	10	180,882 ^{ns}	187,146 ^{ns}	162,464 ^{ns}	119,086 [*]	42,681 [*]	138,452 A
	Média	163,513 a	191,987 a	153,684 ab	126,842 ab	72,684 b	
	Soja Solteira	137,021	117,32	70,169	23,22	87,835	
	C.V (%)	52,51					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

No sistema soja-floresta, independente das distâncias do renque de eucalipto, não houve diferença significativa no teor de N (Tabela 9). Porém, a camada de 0,00-0,10 m obteve maior porcentagem de N. O sistema integrado não se diferenciou do sistema solteiro nas cinco camadas avaliadas.

De maneira similar ao teor de N, o K não apresentou diferenças nas distâncias do renque de eucalipto e, a camada de 0,00-0,10 m obteve maior concentração de K (Tabela 9). Na distância de 10 m do renque, na camada de 0,40-0,60 m, o sistema integrado apresentou dados médios de K inferiores à soja solteira.

Tabela 9. Atributos químicos do solo nos sistemas soja-floresta e soja solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
N (%)							
Soja-Floresta	3	0,213 ^{ns2}	0,166 ^{ns}	0,159 ^{ns}	0,112 ^{ns}	0,085 ^{ns}	0,147 A
	6	0,191 ^{ns}	0,162 ^{ns}	0,121 ^{ns}	0,092 ^{ns}	0,073 ^{ns}	0,127 A
	10	0,214 ^{ns}	0,160 ^{ns}	0,147 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,072 ^{ns}	0,139 A
	Média	0,206 a ¹	0,162 b	0,142 b	0,103 c	0,076 c	
	Soja Solteira	0,205	0,165	0,112	0,081	0,077	
	C.V (%)	20,9					
K (cmol dm ³)							
Soja-Floresta	3	0,409 ^{ns}	0,354 ^{ns3}	0,333 [*]	0,264 [*]	0,206 [*]	0,313 A
	6	0,396 ^{ns}	0,386 [*]	0,333 [*]	0,256 [*]	0,182 [*]	0,310 A
	10	0,388 ^{ns}	0,396 [*]	0,340 [*]	0,280 [*]	0,220 [*]	0,324 A
	Média	0,397 a	0,378 a	0,335 ab	0,266 bc	0,202 c	
	Soja Solteira	0,301	0,249	0,13	0,042	0,021	
	C.V (%)	21,66					
Ca (mg kg)							
Soja-Floresta	3	1769,963 [*]	1367,963 ^{ns}	1792,288 ^{ns}	1688,513 ^{ns}	1377,763 ^{ns}	1597,023 A
	6	1220,025 ^{ns}	1336,625 ^{ns}	1499,500 ^{ns}	1262,150 ^{ns}	941,050 ^{ns}	1251,870 A
	10	1343,500 ^{ns}	1182,750 ^{ns}	1108,400 ^{ns}	990,175 ^{ns}	1377,763 ^{ns}	1200,517 A
	Média	1444,496 a	1295,779 a	1466,729 a	1313,612 a	1228,400 a	
	Soja Solteira	1107,100	1123,138	1956,888	1012,3	979,575	
	C.V (%)	39,02					
pH (CaCL ₂)							
Soja-Floresta	3 m	5,500 ^{ns}	5,788 ^{ns}	6,125 ^{ns}	6,313 [*]	6,238 ^{ns}	5,992 A
	6 m	5,175 ^{ns}	5,563 ^{ns}	6,000 ^{ns}	5,925 ^{ns}	5,938 ^{ns}	5,729 A
	10 m	5,325 ^{ns}	5,538 ^{ns}	5,700 ^{ns}	5,738 ^{ns}	6,250 ^{ns}	5,710 A
	Média	5,333 c	5,629 bc	5,941 ab	5,991 ab	6,141 a	
	Soja Solteira	4,998	5,425	5,625	5,65	5,563	
	C.V (%)	7,5					
P (mg dm ³)							
Soja-Floresta	3	20,469 ^{ns}	5,894 ^{ns}	4,175 ^{ns}	5,868 ^{ns}	5,799 ^{ns}	8,441 A
	6	31,146 ^{ns}	5,174 ^{ns}	4,835 ^{ns}	6,285 ^{ns}	6,823 [*]	10,852 A
	10	24,497 ^{ns}	11,068 ^{ns}	5,182 ^{ns}	4,878 ^{ns}	6,233 ^{ns}	10,371 A
	Média	25,370 a	7,378 b	4,730 b	5,677 b	6,284 b	
	Soja Solteira	18,264	3,125	3,689	4,983	4,696	
	C.V (%)	50,34					
Mg (mg kg)							
Soja-Floresta	3 m	372,838 ^{ns}	282,425 ^{ns}	319,575 ^{ns}	263,050 ^{ns}	268,375 ^{ns}	301,452 A
	6 m	285,475 ^{ns}	273,850 ^{ns}	284,250 ^{ns}	272,950 ^{ns}	231,500 ^{ns}	269,605 A
	10 m	336,288 ^{ns}	278,413 ^{ns}	269,288 ^{ns}	254,450 ^{ns}	262,900 ^{ns}	280,267 A
	Média	331,866 a	278,229 ab	291,037 ab	263,483 b	254,258 b	

Soja Solteira	298,650	288,013	297,9	282,775	274,488	
C.V (%)	19					
H+AL						
3	5,148 ^{ns}	4,091 ^{ns}	3,490 ^{ns}	3,144 ^{*3}	3,154 ^{ns}	3,805 A
6	5,316 ^{ns}	3,990 ^{ns}	3,308 ^{ns}	3,384 ^{ns}	3,289 ^{ns}	3,857 A
10	4,718 ^{ns}	4,091 ^{ns}	3,409 ^{ns}	3,275 [*]	2,819 ^{ns}	3,662 A
Soja-Floresta	Média	5,060 a	4,057 b	3,402 bc	3,267 c	3,087 c
Soja Solteira	5,939	4,323	4,024	3,801	3,563	
C.V (%)	15,35					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, p <0,05). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, p <0,05) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, p <0,05).

Nos valores de cálcio no solo não houve diferenças entre as três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 9). As camadas do sistema soja-floresta não diferiram. No sistema integrado o teor de Ca, na camada de 0,00-0,10 m, foi superior ao sistema solteiro.

Os teores superiores de Ca na camada superficial sem o revolvimento, podem ser atribuídos à adição de calcário na superfície e também à ciclagem de nutrientes com a decomposição de resíduos (HUSSAIN et al., 1999). Esses resultados contrariam os encontrados na presente pesquisa, onde foi observado que o sistema soja-floresta em Sistema Plantio Direto não apresentou diferenças nos teores de Ca de 0,00 a 0,60 m.

A calagem em níveis adequados eleva o pH do solo, diminuindo os níveis tóxicos de alumínio e aumentando a disponibilidade de fósforo (MARTINI; MUTTERS, 1989). O efeito do Al leva a inibição severa do crescimento das raízes devido à diminuição de processos fisiológicos/bioquímicos mais no apoplasto do que na membrana plasmática ou simplasto (ROSOLEM; MARCELLO, 1998). Os sistemas avaliados não apresentaram alumínio nas camadas avaliadas (dados não apresentados pelo autor).

O comportamento do pH do solo foi semelhante nas três distâncias do renques de eucalipto (Tabela 9). Observou-se os menores valores de pH do solo nas camadas superficiais e, apenas na distância de 3 m, na camada de 0,30-0,40 m, diferenciou-se da soja solteira, sendo que o sistema integrado obteve maior pH.

O sistema soja-floresta não apresentou diferenças no teor de P entre as distâncias do renque, pois o sistema apresentou elevados teores de Ca nas três distâncias e, conseqüentemente, maior disponibilidade de fósforo (Tabela 9).

A camada de 0,00-0,10 m obteve teor de P superior às demais (Tabela 9). Maiores teores de P nas profundidades superficiais têm sido observadas em diversos estudos (BAYER; MIELNICZUK, 1997; ALMEIDA et al., 2005) e podem ser atribuídos aos estoques mais elevados de carbono orgânico total, especialmente em solos sob Sistema Plantio Direto,

capazes de complexar alumínio e ferro no solo, e à ausência de incorporação do fertilizante fosfatado (HUSSAIN et al., 1999).

Observou-se que o sistema soja-floresta não apresentou diferenças de Mg nas três distâncias do renque e, obteve maior teor de Mg na camada de 0,00-0,10 m e menores nas camadas de 0,30-0,40 e 0,40- 0,60 m (Tabela 9). Os sistemas integrado e solteiro não apresentaram diferença significativa nas cinco camadas avaliadas.

A acidez potencial não apresentou variação nas três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 9). A maior acidez potencial foi observada na camada de 0,00-0,10 m e, as menores nas camadas de 0,30-0,40 e 0,40-0,60 m. A acidez potencial, nas distâncias de 3 e 10 m, na camada de 0,30-0,40 m, foi inferior à soja solteira.

O sistema soja-floresta não apresentou variação no comprimento de raízes da soja, nas três distâncias do renque de eucalipto e, nas cinco camadas avaliadas. (Tabela 10). Esses resultados podem ser justificados por não haver sinais de compactação e umidade suficiente para o desenvolvimento radicular nas diferentes camadas no sistema integrado (dados não apresentados pelo autor).

O comprimento de raízes da soja, nas três distâncias do renque de eucalipto, na camada de 0,10-0,20 m, foi inferior à soja solteira (Tabela 10).

Tabela 10. Avaliações radiculares nos sistemas soja-floresta e soja solteira em cinco profundidades (m) e em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância	Profundidade					Média
		0,00_0,10	0,10_0,20	0,20_0,30	0,30_0,40	0,40_0,60	
Comprimento de raízes (cm cm ³)							
Soja-Floresta	3	5,643 ^{ns2}	1,776 ^{*3}	6,471 ^{ns}	8,257 ^{ns}	1,213 ^{ns}	4,671 A
	6	3,261 ^{ns}	1,856 [*]	4,582 ^{ns}	0,914 ^{ns}	1,192 ^{ns}	2,504 A
	10	2,835 ^{ns}	1,588 [*]	0,77 ^{ns}	1,419 ^{ns}	0,594 ^{ns}	1,441 A
	Média	3,913 a	1,739 a	3,940 a	3,529 a	1,239 a	
	Soja Solteira	5,559 ¹	5,17	2,822	2,212	1,684	
	C.V (%)	172,03					
Área superficial radicular (m ² m ⁻³)							
Soja-Floresta	3	11,265 [*]	2,829 [*]	8,718 ^{ns}	11,328 ^{ns}	3,768 ^{ns}	7,581A
	6	6,894 [*]	3,189 ^{ns}	4,797 ^{ns}	4,206 ^{ns}	4,169 ^{ns}	4,651A
	10	4,794 [*]	2,544 [*]	3,888 ^{ns}	2,703 ^{ns}	3,687 ^{ns}	3,523A
	Média	7,651 a	2,854 a	5,801 a	6,079 a	3,935 a	
	Soja Solteira	9,987	8,121	8,949	3,165	5,135	
	C.V (%)	262,31					
Diâmetro de raízes (mm)							
Soja-Floresta	3	1,038 ^{ns}	1,011 ^{ns}	1,046 ^{ns}	1,044 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,031 A
	6	1,02 ^{ns}	1,011 ^{ns}	1,026 ^{ns}	1,065 ^{ns}	1,094 ^{ns}	1,043 A

10	1,013 ^{ns}	1,016 ^{ns}	1,02 ^{ns}	1,023 ^{ns}	1,13 ^{ns}	1,040 A
Média	1,024 a	1,012 a	1,031 a	1,044 a	1,081 a	
Soja Solteira	1,025	1,028	0,107	1,012	1,131	
C.V (%)	195,86					

¹ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si (Teste T, $p < 0,05$). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, $p < 0,05$) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, $p < 0,05$).

Assim, como o comprimento, a área de raízes da soja não apresentou diferença nas três distâncias e, nas cinco camadas avaliadas (Tabela 10). No sistema integrado, a distância de 3 m, na camada de 0,00-0,10 m obteve área de raízes superior ao sistema solteiro, o oposto aconteceu nas distâncias de 6 e 10 m, em que a soja solteira apresentou maior área de raízes.

O diâmetro de raízes foi semelhante nas três distâncias do renque de eucalipto (Tabela 10). O sistema soja-floresta não apresentou diferença no diâmetro de raízes da soja nas camadas avaliadas quando confrontada ao sistema soja solteira. Os diâmetros de raízes da soja no sistema integrado, o qual apresentou densidade do solo de 1,23 g/cm³ (Tabela 8) corroboram os encontrados por Rosolem et al. (1994) que não encontrou diferença em diâmetros de raízes de soja quando desenvolvidas em densidades entre 1,03 – 1,48 g/cm³.

Beulter; Centurion (2004) avaliando o efeito da compactação do solo no desenvolvimento radicular da soja não encontraram diferenças no diâmetro de raízes, com valores médios próximos de 1 mm nas camadas 0,00-0,20 m, esses dados estão de acordo com os encontrados na presente pesquisa.

3.3.4 Produtividade das Culturas

A produtividade de fitomassa da aveia não apresentou diferenças nas três distâncias do renque de eucalipto e, o sistema solteiro obteve produtividade superior ao sistema integrado nas três distâncias (Tabela 11). Assim, para a determinação da produtividade da fitomassa da aveia, o efeito negativo exercido pela competição do eucalipto por recursos ambientais superou possíveis benefícios, como, temperatura máxima mais baixa, umidade relativa elevada e diminuição da evapotranspiração (SOUZA et al., 2010).

No sistema pasto-floresta não houve diferenças entre as distâncias avaliadas, entretanto, o pasto solteiro apresentou produtividade de fitomassa superior nas distâncias de 3 e 6 m do renque de eucalipto (Tabela 11). Paciullo et al. (2011) observaram que embora a *U. decumens* apresente ajustes morfológicos como estratégia de tolerância ao sombreamento

(Guenni et al., 2008), esses mecanismo não foram capazes de compensar a redução de radiação e manter a produtividade do pasto, nas condições de sombreamento intenso até seis metros do renque de eucalipto.

Tabela 11. Produtividade (kg/ha) dos sistemas aveia-floresta, pasto-floresta e soja-floresta e seus respectivos sistemas solteiros, em três distâncias (m) do renque de eucalipto. Maravilha, PR. 2016.

Sistema	Distância		
	3	6	10
Aveia-Floresta	1207 a *	1219,25 a *	1260,5 a *
Aveia Solteira	2583		
C.V (%)	31,3		
Pasto-Floresta	3033,37 a *	5019,12 a ^{ns}	3301,37 a *
Pasto Solteiro	6998		
C.V (%)			
Soja-Floresta	1408,644 b ^{ns}	2974,272 a ^{ns}	2041,121 ab ^{ns}
Soja Solteira	2607,638		
C.V (%)	50,05		

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Teste T, $p < 0,05$). ² ns = diferença não significativa (Teste de Dunnett, $p < 0,05$) ³ * diferença significativa (Teste de Dunnett, $p < 0,05$).

O sistema soja-floresta apresentou diferenças entre as distâncias avaliadas, a distância de 6 m obteve maior produtividade de grãos e a distância de 3 m a menor e, em relação a soja solteira não houve diferenças (Tabela 11).

3.3.5 Dendrograma de Similaridade

No sistema soja-floresta, o tratamento mais dissimilar foi a distância de 3 m do renque de eucalipto, provavelmente em função de ter apresentado a menor produtividade de grãos. As distâncias de 6 e 10 m apresentaram alta similaridade. Adicionalmente, o tratamento controle (soja não consorciada com eucalipto) ficou em posição intermediária. Nos sistemas pasto-floresta e aveia-floresta, o tratamento mais dissimilar foi o controle, provavelmente em razão do maior crescimento de raízes na camada superficial e maior produtividade da fitomassa. Assim como no sistema soja-floresta, os tratamentos mais similares foram as distâncias de 6 e 10 m do renque.

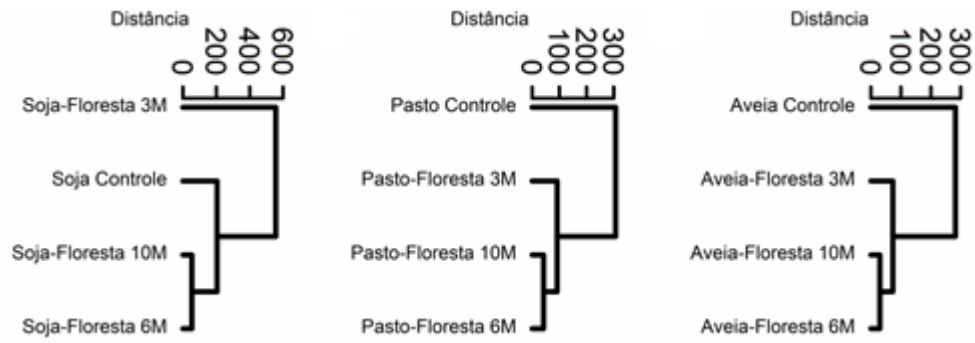


Figura 3. Dendrogramas de similaridade, construído em relação à distância Euclidiana utilizando os atributos químicos, físicos e de raízes, nos sistemas integrados e solteiros, nas cinco camadas avaliadas.

3.4 Conclusões

As maiores alterações físico-químicas do solo foram observadas nas camadas superficiais nos três sistemas avaliados - aveia-floresta, pasto-floresta e soja-floresta.

Nas três distâncias do renque de eucalipto, não houve variação do comprimento, área e diâmetro das raízes de aveia e soja. No entanto, o maior crescimento de raízes de braquiária ocorreu próximo ao renque.

O crescimento de raízes de aveia, braquiária e soja foram maiores na ausência de interferência do eucalipto na camada superficial, em relação ao sistema consorciado, mas, nas camadas subsuperficiais, o eucalipto não reduziu o crescimento de raízes dessas culturas.

A produtividade da fitomassa da aveia não foi afetada em relação às distâncias do renque de eucalipto, entretanto, o sistema solteiro obteve maior produtividade.

A produtividade da fitomassa da pastagem não apresentou variação em relação às distâncias do renque de eucalipto, porém a produtividade no sistema solteiro foi maior que consorciada.

A produtividade de grãos da soja não apresentou diferença entre o sistema consorciado e o sistema solteiro.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vários fatores afetam o crescimento radicular e a produtividade das culturas como, material com alto potencial produtivo, rotação de culturas, plantio direto na palha, manejo fitossanitário no tempo ideal e, principalmente, o solo bem estruturado e corrigido. Na presente investigação, não foi observada elevada variação nos atributos químicos e físicos entre os sistemas integrados e seus respectivos sistemas solteiros. Sendo assim, a variação de produtividade não está relacionada com esses atributos.

Após seis anos de implantação do sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, a principal causa da variação nos atributos radiculares e da produtividade das culturas, aveia, pasto e soja, podem ter sido o sombreamento provocado pelo renque de eucalipto. Além disso, outro ponto que merece destaque é que a magnitude da redução de produtividade de fitomassa aérea da aveia e da braquiária e de grãos de soja, em função da interferência do eucalipto, foi muito superior do que a magnitude de redução do crescimento de raízes, indicando que o crescimento da parte aérea das culturas é mais afetado pelo eucalipto do que o crescimento do sistema radicular.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R.C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; CONTIJO NETO, M.M.; VIANA, M.C.M.; VILELA, L. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.31, p.59-67. 2010.
- AGRÍCOLA PANORAMA, **Produtos – detalhes Soja SYN1163RR**.
<http://www.agricolapanorama.com.br/produtos.php?iid=40&category=SYNGENTA&action=item&subcat=Sementes+de+Soja&title=soja-syn1163-rr>. Acesso em: 28 jun.2017.
- AGUIAR, M.I. DE. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. [**Dissertação Mestrado**]. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 79p. 2008.
- AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoura e pecuária nos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.).**Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.25-58.
- ALMEIDA, J.A DE.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A.J do.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.29, p.437-446. Maio, 2005.
- ALVARENGA, R.C.; NOCE, M.A. **Integração lavoura-pecuária**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. 16p.
- ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. Eficiência de absorção de nutrientes pelas raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p.57-87.
- BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F.**Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília. Embrapa Arroz e Feijão, 2011.p.130.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A. de; VEIGA, M. da; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.1925-1933. Set, 2009.
- BALBINOT JUNIOR, A.A. Acamamento de plantas na cultura da soja. **Agropecuária Catarinense**, v.25, n.1, p.40-43. Mar, 2012.
- BAGGIO, A.J.; SCHREINER, H.G. Análise de um sistema silvipastoril com *Pinus elliottii* e gado de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.16, p.19-29. Dez, 1988.
- BASSANI, H.J. Propriedades físicas induzidas pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não-pastejada. [**Dissertação Mestrado**] Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 90p. 1996.

- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.105-112.1997.
- BENGOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v.41, p.341-358. Set, 1990.
- BEUTHER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.849-859. Jul, 2003.
- BEUTLER A.N.; CENTURION J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.581-588. Jun, 2004.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin, Springer-Verlag,. 1979. p.188.
- BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p.605-614. 2006.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspari, 1997. 132 p.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de cultura e sistema de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.121-126. 1995.
- CASSOL, E.A; DENARDIN, J.E; KOCHHANN, R.A. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre a conservação do solo e da água. In: CERRETA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M.(Ed). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de ciência do solo, v5, 2007 p.333-370.
- CANTARUTTI, R.B.; TARRÉ, R.M.; MACEDO, R.; CADISCH, G.; RESENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; BRAGA, J.M.; GOMEDE, J.A.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. The effect of grazing intensity and the presence of a forage legume on nitrogen dynamics in Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, v.64, n.11, p.257-271, 2002.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS,1997. p.212.
- COSTA, A.; ROSOLEM, C.A.; TORRES, H. Distribuição de raízes de leguminosas em função de alterações nas características químicas e física em solo do Paraná. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracajú/SE. **Anais...** EMBRAPA – Tabuleiros Costeiros. 1999. p. 191-202.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens**: processos, causas e estratégias de recuperação. 3.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p.190.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, Santa Maria. v.42, n.7, p.1180-1186. Jul, 2012.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; ETEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21.

DOURADO-NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I. Uses of mathematical models in agricultural science. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v.55, p.46-50. Ago, 1998.

DUPRAZ, C.; LIAGRE, F. **Agroforesterie: des arbres et des cultures**. Paris: France Agricole, 2008. 413p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 3º ed., 2013. 353p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2012 e 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 262p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Tecnologia de produção de Soja – Região Central do Brasil 2004**. 1ºed. Londrina: Embrapa Soja, 2003. p.237.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análises do solo**. Centro Nacional de pesquisa em solos. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 2º ed., 1997. 212 p.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. **Screening crop genotypes for mineral stresses**. In: WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, 1993, Lincoln. Proceedings... Lincoln: University of Nebraska, p.142- 159. 1993.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina: Embrapa CNPSO, 2007. 9p.

FLORES, J.P.C. Atributos de solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto com calcário na superfície. [**Dissertação Mestrado**] – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004. p.84

FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C. de F.; LEITE, J.G. Dal B.; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.771-780. 2007.

FLOSS, E. L. et al. Crescimento, produtividade, caracterização e composição química da aveia Branca. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 1-7, 2007.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. p.52.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A.A; SICHIERI, F.R; DEBIASI, H; CONTE, O. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Barros Torres, v. 45, p.1006-1013, 2014.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.947-953. Ago, 2003.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three Brachiaria species to light intensity and nitrogen supply. **Tropical Grasslands**, v.42, p.75- 87, 2008.

GONÇALVES, S.L.; LYNCH, J.P. Raízes de plantas anuais: tolerância a estresses ambientais, eficiência na absorção de nutrientes e métodos para seleção de genótipos. **Documentos 357**, 2014.

GREGORY, P. **Plant Roots: Grow, activity and interaction with soils**. Ed Blackwell Publishing Ltda. Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK. 2006.

GONÇALVES, S.A.; FRANCHINI, J.C. **Integração lavoura-pecuária**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8p.

HUSSAIN, I; OLSON, K.R; EBELHAR,S.A. Long term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Science Society of America Journal*, v. 63, p.1335-1341. 1999.

IAPAR **Instituto Agrônomo do Paraná**. Disponível: www.iapar.br. Acesso em: 10.jun.2016.

IAPAR **Instituto Agrônomo do Paraná**. Disponível: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/aveia-branca.pdf. Acesso em: 20.agosto.2017.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicação da curva de resistência do solo à penetração no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.35, p.1493-1500. Jul, 2000.

JACKSON,R.B.; CANADEL, J.; EHLERINGER,J.R.; MOONEY, H.A.; SALA, O.E.; SCHULZE, E.D. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia**, v.108, p.389-411. Nov, 1996.

JORGE, L.A.C.; RODRIGUES, A.F.O. Safira: sistema de análise de fibras e raízes. Embrapa Instrumentação Agropecuária: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 24, 2008. p.20.

FREDDI, O. DA S; CENTURION, J.F; DUARTE, A.P; LEONEL,C.L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em latossolo vermelho. I - Características de planta, solo e índice. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.793-804. 2009.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J.C.; SANTOS, E.J.; RITTER,S.R.; Erosão hídrica em um nitossolo háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I - perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p.1033-1044. Dez,2004.

LIBARDI, P.L; VAN LIER, Q. de J. Atuação dos fatores físicos do solo no desenvolvimento do sistema radicular. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros**, 1999. p.47-56.

LIEDGENS, M.; RICHNER, W. *Minirhizotron* observations of the spatial distribution of the maize root system. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 5, p. 1097–1104, 2001

LIRA, M.A.; FARIAS, I.; FERNANDES, A.P.M. Estabilidade de resposta do capim Braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) sob níveis crescentes de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.8, p.1151-1157, 1994.

LLANILLO et al. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220. Abr./jun, 2006.

LOPES, P.R.C.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 11, p. 71-75. 1987.

MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B. do; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010. p.33.

MARTINI, J.A.; MUTTERS, R.G. Soybean root growth and nutrient uptake as affected by lime rates and plant age: I. Al, Mn, P and S. **Turrialba**, v.39, p.18-24,.1989.

MEDINA, C.C.; NEVES, C.S.V.J. Método da trincheira com contagem manual das raízes. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASOS, 1999, Aracaju. **Anais... Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros**, 1999. p.275-282.

MELLO, N.A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: MELLO, N. & ASSMANN, T.S. In: **ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL**, 1., Pato Branco, 2002. Trabalho apresentado. Pato Branco, 2002. p.43-60.

MUÑOZ-ROMERO, V.; BENÍTEZ-VEGA, J.; LÓPEZ-BELLIDO, L.; LÓPEZBELLIDO,NEVES, C. S. V. J.; BORGES, A. V.; KANAI, H. T.; PRETE, C. E. C.; CARPENTIERI-PÍPOPLO, V. Distribuição do sistema radicular da aceroleira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n.1, p. 112-115, 2001.

NAIR, P.K.R.; TONUCCI, R.G.; GARCIA, R.; NAIR, V.D. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian savanna (Cerrado). In: KUMAR, B.M.;

NAIR, P.K.R. (Ed.). **Carbon sequestration potential of agroforestry systems: opportunities and challenges**. London: New York: Springer, 2011. p.145-162.

OTTO, R.; TRIVELIN, P. C.; O., FRANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 601-611, 2009.

PACHECO-VILAALOBOS, D.; HARDTKE, C. Natural genetic variation of root system architecture from Arabidopsis to Brachypodium: towards adaptive value. **Philosophical Transactions Royal Society**, v. 367, p. 1552-1558, 2012.

PAULINO, V. T.; ROCHA, M.; CASTRO JÚNIOR, F. G. de. Caracterização física e química de composto produzido a partir de resíduos de origem animal e seu valor fertilizante sobre o rendimento de aveia (*Avena sativa*, L.). In: *Fertbio*, 1, 1998, Caxambu. **Anais...** Lavras: SBCS, 1998. p.101.

PEREIRA, M.H. O sistema de plantio direto na palha 25 anos de sua adoção no Brasil. In: *Seminário sobre o Plantio Direto*, 1., 1998, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1998.p.1-7.

PIMENTA, L. Capim novo a caminho. **Revista Associação Brasileira Criadores de Zebu**, v.50, p.18-20, 2009.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.DE; FERNANDES, E.N.; MÜLLER, M.D.; PIRES M.F.A.; FERNANDES, E.N.;XAVIER, D.F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.**, Brasília, v.46, p.1176-1183. Out. 2011

PORFÍRIODASILVA, V. **Arborização de pastagens: I. Procedimentos para introdução de árvores em pastagens**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 8p.

RADOMSKI, M.I.; RIBASKI, J. **Sistemas silvipastoris: aspectos da pesquisa com eucalipto e grevêlea nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 40p.

RANGEL, J.H DE A.; MUNIZ, E. N., SÁ, J. L. de, SÁ C. O. de. **Implantação e manejo de sistema de integração Lavoura /Pecuária/Floresta com *Gliricidia sepium***. Circular Técnica 1.ed. Aracaju, SE. Nov., 2010.

RICH, S.M; WATT, M. Soil conditions and cereal root system architecture; review and considerations for linking Darwin and Weaver. **Journal of Experimental Botany**, v.64, p.1193-1208. 2013.

RODIGHERI, H.R. **Viabilidade econômica de plantios florestais solteiros e de sistemas agroflorestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1998. 4p.

ROQUE, M.W.; MASTURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI D.R.; SOUZA, A.L. Relação linear e espacial a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade de feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1827-1835. 2008.

ROSOLEM, C.A; MARCELLO C.S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.55, p.448-455. 1998.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A.C.DA.S; SACRAMENTO, L.V.S.DO. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p.491-497, set. 1994.

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

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.1349-1356. Out, 2011.

SANTOS, G.G; MARCHÃO R.L; MEDRADO, E; SILVEIRA, P.M.DA; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.xxxx-xxxx. Ago. 2011

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; AMBROSI, I. Análise econômica de culturas de inverno e de verão em sistemas mistos, sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.9, p.121-128, 2003.

SARMENTO, P; RODRIGUES, L.R DE A; LUGÃO, S.M.B; CRUZ, M.C.DA; CAMPOS, F.P.DE; FERREIRA, M.E; OLIVEIRA, R.F.DE. Sistema radicular do Panicum maximum Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Nova Odessa, v.37, p.27-34, 2008.

SCHERER, E.E.; NESI, C.N. Sistemas de preparo do solo, doses e fontes de adubo nitrogenado na produtividade de milho. **Agropecuária Catarinense**, v.20, p.67-71, 2007.

SEIXAS F. **Compactação do solo devido à mecanização florestal: Causas, Efeitos e Práticas de Controle**. 163. ed. Piracicaba: Ipef, 1988.

SHEORAN, V; SHEORAN, A.S; POONIA, P. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. **Journal of Soils and Sediments**, v.3, p.2-13, 2010.

SILVA, R.H. da; ROSOLEM, C.A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.855-860. 2002.

SILVA, J.A.R. da; ARAÚJO, A.A. de; LOURENÇO JÚNIOR, J. de B.; SANTOS, N. de F.A. dos S.; GARCIA, A.R.; NAHUM, B. de S. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na Amazônia Oriental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, p.1364-1371, 2011.

SILVA, A.R; SALES, A; VELOSO, C.A.C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 37, p. 96-104, 2016.

SOUZA, W. de et al. Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 3, p. 685-694, 2010

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. & TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p-533-542. 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 719 p.

TAVARES FILHO J.; BARBOSA G.M.; GUIMARÃES M.F.; FONSECA I.C.B. Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.725-730. 2001.

TAYLOR, H. M., ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength - root penetration relations to medium to coarse – textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18- 22, Jan. 1966.

TORMENA C. A; ROLOFF, G; SÁ J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.301-309. 1998.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; VALÉRIO, J. R.; MACEDO, M. C. M.; FERNANDES, C. D.; DIAS FILHO, M. B. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã: Uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. **Seed News**, v.11, p.28-30. 2007.

VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 849-858. 2003.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; KARINA PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1.127-1.138. 2011.

VILELA, L. & ANGHINONI, I. Morfologia do sistema radicular e cinética da absorção de fósforo em cultivares de soja afetadas pela interação alumínio-fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p.91-96. 1984.

VEZZANI, F.M.; MILNICZUK, J. Uma visão de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.4, p.743-755. Ago, 2009.

ZHANG, J.SONG.; WENYAN Y. Tillage effects on soil carbon fractions in the Sanjiang Plain, Northeast China. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.93, n1, p.102-108. Mar, 2007.

WOLF SEMENTES, **BRS Piatã – Produtos**. Disponível em:

<http://www.wolfseeds.com/produtos/gramineas/piata/> Acesso em: 01 ago.2017

ANEXOS

CULTIVARES

Soja SYN 1163-RR

A soja (*Glycine Max* L.) teve origem no Leste da China e foi cultivada por mais de cinco mil anos antes de ser levada ao Ocidente. O cultivo comercial da soja como planta forrageira iniciou-se nos Estados Unidos o cultivo comercial da soja como planta forrageira, e na década de 40, houve o crescimento da produção, e o grão começou a ser utilizado como fonte de proteína para alimentação animal. No Brasil, o cultivo da soja ganhou importância econômica a partir da década de 70 (EMBRAPA, 2004) e no ano de 2017 o país foi considerado o segundo maior exportador de soja do mundo.

A cultivar SYN1163-RR foi lançada ano de 2013, e é recomendada para regiões de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Sul do Paraná. Apresenta alto potencial produtivo, grau de maturação de 6.3, crescimento indeterminado, o hilo apresenta coloração marrom claro e a flor roxa e as plantas apresentam altura de 1,16 m. As recomendações agronômicas para cultivá-la são: semeadura no período de 25 de outubro a 30 de novembro; em média 300 mil plantas por hectare; ciclo em torno de 134 dias; apresenta resistência a cancro da haste, mancha olho de rã e pústula bacteriana; suscetível a *Phytophthora*, nematoide de cisto, *M. incognita* e *M. javanica* (AGRÍCOLA PANORAMA, 2017).

Aveia IPR 126

A aveia-branca (*Avena sativa* L) pertence à família Poaceae, apresenta sistema radicular fasciculado, utilizada principalmente, no Centro-Sul do Brasil, como cultura alternativa de inverno, para produção de forragem, grãos e cobertura verde. Alguns cultivares apresentam dupla aptidão, como produção de forragem e colheita de grãos no rebrote (FLOSS et al., 2007).

A aveia IPR 126 foi lançada no ano de 2005. Essa cultivar é indicada para áreas de sistemas Integração Lavoura-Pecuária, por possuir amplo sistema radicular, o qual suporta o pisoteio animal. Suas principais características são: sistema radicular profundo que auxiliam no condicionamento físico do solo; elevada produção de massa seca (7 a 8 t/ha); e ciclo de florescimento tardio (aproximadamente 145 dias); e possui baixa resistência à seca. A época ideal de plantio é de março a maio com espaçamento de 0,20 m e profundidade de 0,02 a 0,03 m (IAPAR, 2017).

***U. Brizantha* cv. BRS Piatã**

A forrageira *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã, pertence à família das Gramíneas, é uma cultura perene e vem ganhando espaço nas áreas destinadas ao cultivo de pastagens por ser considerada produtiva, apresentar maior acúmulo de folhas, maior tolerância a solos com má drenagem (PIMENTA, 2009) e apresentar boa aceitação pelos animais, dentre as diversas espécies do gênero (VALLE et al., 2007).

O capim-piatã foi lançado no ano de 2007, após 16 anos de avaliações. Possui habito de crescimento ereto com a formação de touceiras que variam de 0,85 a 1,10 m (VALLE et al., 2007); suas folhas medem até 0,45 m de comprimento e 0,18 m de largura; a característica que o diferencia dos demais cultivares é sua inflorescência, que possui 12 ráceros (ANDRADE; ASSIS, 2010). A cultivar apresenta adaptabilidade em quase todo o Brasil, porém tem melhor desenvolvimento em regiões com bom regime de chuva, sem invernos rigorosos e com solos de média fertilidade (VALLE et al., 2007).

SOFTWARE SAFIRA

O software Safira foi desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária (JORGE; RODRIGUES, 2008) e é uma ferramenta que auxilia nas observações dos sistemas radiculares, fibras vegetais e manejo do solo no campo ou em áreas experimentais. Para os agricultores é de suma importância, uma vez que podem perceber a diferença no desenvolvimento de diferentes plantas, bem como avaliar o manejo adotado.

O software é ferramenta para análise de raízes através do processamento de imagens obtidas por scanners ou câmera digital. É extremamente útil no estudo do desenvolvimento de culturas e para caracterizar materiais e fibras naturais, em diferentes aplicações. É um sistema de análise de fibras e raízes que possibilita a determinação do volume, área superficial e comprimento por faixa de diâmetros. As vantagens de utilização do software Safira são pela gratuidade do programa; facilidade de acesso e de trabalhar as imagens; e disponível para download pelo site da Embrapa Instrumentação Agropecuária (JORGE; RODRIGUES, 2008).

Inicialmente, após a abertura da imagem que se quer trabalhar, procede-se a segmentação pelo método da limiarização, resultando na transformação da imagem em preto e branco, ditas imagens binárias. Deve-se atentar e verificar se não existem impurezas e/ou bolhas na imagem neste momento, para não mascarar os resultados encontrados (JORGE; RODRIGUES, 2008).

Posteriormente, após a binarização e identificação do número de fibras e raízes, realiza-se a contagem, de acordo com os segmentos presentes na imagem que não estão conectados entre si, e ainda identifica-se o eixo principal das raízes. A partir das classes de diâmetro geram-se os cálculos do comprimento de raízes por faixa de diâmetro e determina-se a classificação final de raízes por faixa de diâmetros encontrados. As classes de diâmetros são identificadas por coloração diferenciada formando os respectivos histogramas de frequência presentes na saída do sistema (JORGE; RODRIGUES, 2008).

Contudo, pode-se visualizar cada segmento de raiz com diferentes diâmetros e as respectivas cores diretamente na imagem, sendo estas correspondentes ao histograma de saída, para assim facilitar a visualização rápida das amostras. Por fim, é feita a identificação e determinação automática de volume, área superficial e comprimento por classes de diâmetro de raízes ou fibras (Figura 4), sendo realizada através do diâmetro médio ponderado por raiz presente na imagem ou segmento de fibra (JORGE; RODRIGUES, 2008).

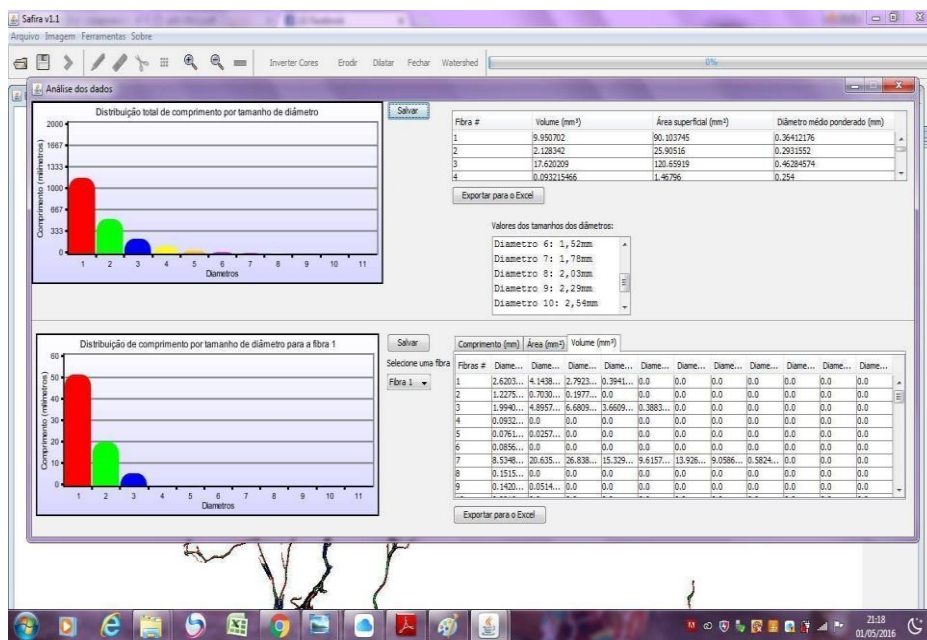


Figura 4. Histograma e dados analisados das raízes realizado pelo programa Safira.

Fonte: Natassia Armacolo

No final, as tabelas geradas podem ser exportadas em formatos padrões para planilhas de cálculo, bem como os gráficos podem ser visualizados pela distribuição total de comprimento por tamanho do diâmetro e distribuição de comprimento por tamanho de diâmetro para cada fibra ou raiz presente na imagem (JORGE; RODRIGUES, 2008).