

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

LEOCIMARA SUTIL DE OLIVEIRA PESSOA PAES

**RELAÇÃO DAS RAÍZES COM INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E
ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM SISTEMAS DE USO EM CAMBISSOLO
HÁPLICO**

CURITIBA

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

LEOCIMARA SUTIL DE OLIVEIRA PESSOA PAES

**RELAÇÃO DAS RAÍZES COM INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E
ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM SISTEMAS DE USO EM CAMBISSOLO
HÁPLICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Solo e Ambiente, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dra. Fabiane Machado Vezzani

Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima

CURITIBA

2015



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



P A R E C E R

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **LEOCIMARA SUTIL DE OLIVEIRA PESSOA PAES**, intitulada: **Relação das raízes com indicadores microbiológicos e estabilidade de agregados em sistemas de uso em Cambissolo Háplico**, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela **“APROVAÇÃO”** da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 31 de março de 2015.

Prof^a. Dra. Fabiane Machado Vezzani, Presidente

Prof^o Dr. Marcelo Ricardo de Lima, I^o. Examinador

Dra. Diva de Souza Andrade, II^o. Examinador

À Deus, Arquiteto do Universo, por sempre me dar forças para continuar e me mostrar o quanto sou privilegiada por ter chegado até aqui.

DEDICO

A meus pais, Antonio Sutil e Iracy Grassi,
por me ensinarem a buscar meus objetivos.

A meu companheiro e amigo
Hericson Paes pela cumplicidade,
apoio irrestrito às minhas escolhas
e, principalmente, compreensão em
todos os momentos.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado até aqui, és minha fortaleza e meu refúgio, em ti encontro forças para cada etapa dessa vida.

Aos meus pais e irmãos, que mesmo sem “entender muito bem” o que eu faço, torcem por mim e pelo meu sucesso. Ao meu companheiro Hericson pela paciência, apoio e por ter sido mais do que tudo pra mim, em você encontrei suporte, incentivo e coragem nas horas difíceis. Obrigado por sempre acreditarem em mim.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro;

A Prof.^a Dra. Fabiane Machado Vezzani pela oportunidade, apoio e confiança depositada, além da amizade e orientação para elaboração desse trabalho, obrigada pela paciência em me ensinar desde os primeiros passos.

Ao Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima pela co-orientação e apoio em todas as etapas desse trabalho;

Ao Senhor Paulo Marceluck, pela permissão da realização do trabalho em sua propriedade;

Aos Professores Luiz Claudio de Paula Souza, Jair Alves Dionísio e Renato Marques pelo apoio técnico científico e a todos os professores do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Aos funcionários e técnicos de laboratório pela atenção e auxílio;

A todos os companheiros e amigos que fiz, Willian pelos intermináveis finais de semana me ensinado fertilidade, Priscila e Alessandra pelas boas risadas e amizade, Gabriel pelo apoio nas estatísticas e nas coletas de campo, Demétrio e Caio pela parceria e a todos os colegas que compartilharam seu tempo ajudando nas coletas de campo e que dedicaram amizade, vou levar um pouquinho de cada um de vocês para sempre.

Agradeço, por fim, a todos que de algum modo contribuíram para a realização desse trabalho.

*“Eu o Senhor teu Deus te tomo pela mão direita
e digo não temas, porque eu sou contigo,
não te assombres, porque eu sou o teu Deus,
eu te fortaleço, eu te ajudo,
eu te sustento com a minha destra fiel.”*

Isaías 41:10-11

*“Se tivermos que esperar que seja
para colher a semente boa
que lançamos hoje no solo da vida.
Se for para semear, então que seja
para produzir milhões de sorrisos,
de solidariedade e amizade.”*

Cora Coralina

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE APÊNDICES	xv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1. Área de estudo	3
2.1.1. Sistemas de uso, delineamento experimental e tratamentos	3
2.1.2. Época de coleta, histórico e manejo dos sistemas	4
2.2. Atributos da matéria vegetal de raízes	5
2.2.1. Arquitetura de raízes	6
2.2.2. Comprimento, área, volume, densidade, densidade de comprimento e diâmetro de raízes	
2.2.3. Matéria seca de raízes	6
2.2.4. Carbono e nitrogênio das raízes	7
2.2.5. Lignina insolúvel.....	7
2.3. Atributos da matéria vegetal	7
2.3.1. Matéria seca da parte aérea das culturas	7
2.3.2. Caracterização botânica do sistema floresta.....	7
2.4. Atributos do solo.....	8
2.4.1. Coleta das amostras de solo	8
2.4.2. Análise química do solo	8
2.4.3. Polissacarídeos totais do solo	8
2.4.4. Granulometria do solo	9
2.4.5. Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho e diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu).	9

2.5.	Atributos microbiológicos	9
2.5.1.	Respiração microbiana (C-CO ₂).....	9
2.5.2.	Carbono da biomassa microbiana por indução do substrato	10
2.5.3.	Quociente microbiano (<i>q</i> Mic)	10
2.5.4.	Quociente metabólico (<i>q</i> CO ₂)	11
2.6.	Análises estatísticas	11
3.	RESULTADOS	12
3.1.	Atributos de raízes	12
3.1.1.	Arquitetura, área de raízes (<i>A_r</i>), volume de raízes (<i>V_r</i>), densidade de comprimento de raízes (<i>D_{Cr}</i>) e diâmetro de raízes (\emptyset)	12
3.1.2.	Classificação das raízes por diâmetro	14
3.1.3.	Carbono (C) e nitrogênio (N) nas raízes	14
3.1.4.	Relação matéria seca de raízes e de parte aérea	14
3.2.	Atributos do solo.....	15
3.2.1.	Granulometria.....	15
3.2.2.	Atributos de fertilidade no solo	17
3.2.3.	Distribuição de agregados em classes de diâmetro	17
3.2.4.	Diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu).....	18
3.3.	Atributos microbiológicos do solo.....	19
3.4.	Análise de componentes principais.....	20
4.	DISCUSSÃO	22
4.1.	Distribuição e atributos de raízes no perfil	22
4.2.	Relação das raízes com a atividade biológica e a estrutura do solo.....	23
4.3.	Matéria seca e indicadores de fertilidade do solo	25
5.	CONCLUSÕES.....	29
6.	LITERATURA CITADA.....	30
7.	APÊNDICES	37

RELAÇÃO DAS RAÍZES COM INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM SISTEMAS DE USO EM CAMBISSOLO HÁPLICO¹

Autora: Leocimara Sutil de Oliveira Pessoa Paes
Orientadora: Prof. Dra. Fabiane Machado Vezzani
Co-Orientador: Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima

RESUMO

O estudo dos atributos de raízes e suas relações com os atributos do solo podem contribuir para o entendimento do papel das plantas sobre a atividade biológica e a agregação do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a relação das raízes em diferentes sistemas de uso do solo com indicadores microbiológicos e a estabilidade de agregados em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. Os sistemas de uso foram: i: Floresta nativa situada às margens do rio Pequeno, ii: Milho em preparo convencional com enxada-rotativa e iii: Pupunha em preparo conservacionista, com preparo apenas no estabelecimento da cultura. Os atributos de raízes avaliados foram: densidade de comprimento (DCr), volume (Vr), área (Ar), carbono (Cr), nitrogênio (Nr), lignina e matéria seca. A matéria seca da parte área da vegetação também foi avaliada. Os atributos biológicos analisados foram: respiração basal (C-CO₂) e carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS); quociente metabólico (*q*CO₂); quociente microbiano (*q*Mic) e atributos do solo: distribuição de agregados em classes de tamanho; diâmetro médio ponderado obtido via úmida (DMPu); granulometria, macronutrientes e polissacarídeos. O solo do sistema Pupunha apresentou maior proporção de agregados na classe 8-2 mm (73 g 100 g⁻¹) na profundidade 0 a 5 cm, comparado ao solo da Floresta (52 g 100 g⁻¹), essa maior estabilidade dos agregados foi atribuída ao maior teor de argila e menor teor de areia. O sistema Floresta foi superior aos sistemas Milho e Pupunha nos atributos de raízes nas profundidades 0 a 5 e 15 a 36 cm, no entanto, o efeito negativo do elevado teor de areia no solo da Floresta foi preponderante na estabilidade de agregados expressando na média da profundidade 0-30 cm DMPus de 2,8 mm, enquanto que o Pupunha e Milho apresentaram em média 3,4 e 3,5 mm, respectivamente. Os maiores valores de Ar e Vr na profundidade 0 a 5 cm estimulou a biomassa microbiana no Pupunha e na Floresta (C-BMS 942 e 848 mg C kg⁻¹ solo, respectivamente), refletindo em eficiência no aproveitamento do carbono (*q*Mic 5,1 e 4,7 % CO BMS⁻¹, respectivamente),

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. (94 p.) Março, 2015.

comparados ao Milho (C-BMS 428 mg C kg⁻¹ solo e q_{Mic} 2,1 % CO BMS⁻¹). O maior volume de raízes nos sistemas Floresta e Pupunha conferiu melhores condições para a biomassa microbiana e refletiu em estabilidade de agregados no sistema Pupunha, enquanto no sistema Milho o menor volume de raízes refletiu em menor biomassa microbiana e menor eficiência no aproveitamento de carbono. Na Floresta, a textura do solo influenciou negativamente na formação de macroagregados, mesmo na presença de grande densidade de raízes e alta atividade biológica. Os sistemas de uso Floresta e Pupunha que somaram maior volume de raízes refletiram em melhores condições biológicas.

Palavras-chave: Volume de raízes, estrutura do solo, biomassa microbiana, litoral Paranaense.

**ROOTS OF RELATIONSHIP WITH MICROBIOLOGICAL
INDICATORS AND AGGREGATE STABILITY IN USE SYSTEMS
INCEPTISOIL ²**

Author: Leocimara Sutil de Oliveira Pessoa Paes

Advisor: Prof. Dr. Fabiane Machado Vezzani

Co-Advisor: Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima

ABSTRACT

The study of the attributes of roots and their relationships with soil properties can contribute to the understanding of the role of plants on biological activity and soil aggregation. The objective of this study was to analyze the relationship of the roots in different soil use systems with microbiological indicators and aggregate stability in Inceptisoil in the municipality of Antonina – PR. Soil use systems were: i: native forest on the banks of the river Pequeno; ii: corn under conventional tillage with rotary hoe; and iii: Pupunha in conservation tillage, with tillage only in the establishment of culture. The roots attributes evaluated were: length density (CrD), volume (Vr), area (Ar), carbon (Cr), nitrogen (NR), lignin and dry matter. The dry matter of the foliage area was also evaluated. The soil biological attributes analyzed were: basal respiration (C-CO₂) and carbon of microbial biomass (C-BMS); metabolic quotient (qCO₂); microbial quotient (qMic). Other soil attributes were: aggregate distribution in size classes; weighted mean diameter in the wet way (DMPu); particle size, macronutrients and polysaccharides. The soil in the Pupunha system showed the highest proportion in 8-2 mm aggregate class (73 g 100 g⁻¹) 0 to 5 cm depth compared to the Forest soil (52 g 100 g⁻¹), which larger aggregate stability was attributed to the higher content of clay and smaller sand content. The root attributes in the depths from 0 to 5, and 15 to 36 cm in Forest system was superior to Pupunha and Corn systems. However, the negative effect of high sand content in the Forest soil was predominant in aggregate stability expressing on average DMPus 0-30 cm depth of 2.8 mm, while the Pupunha and Corn had an average 3.4 and 3.5 mm, respectively. The higher Vr values at 0 to 5 cm stimulated microbial biomass in Pupunha and Forest (BMS-C 942 and C 848 mg kg⁻¹ soil, respectively), reflecting efficiency in carbon utilization (qMic 5, 1 and 4.7% CO BMS⁻¹, respectively), compared to Corn (C-BMS 428 mg C kg⁻¹ soil and qMic 2.1% CO BMS⁻¹). The higher Vr in the Forest and Pupunha systems provide better conditions for

² Soil Science Master Dissertation. Graduate Program in Soil Science, Science Sector Agricultural, Federal University of Paraná. Curitiba. (94 p.) March, 2015.

microbial biomass and reflected in aggregate stability in Pupunha system, while the smaller Vr in the Corn reflected in lower microbial biomass and lower efficiency in the use of carbon. In the Forest, the soil texture had a negative influence in the macroaggregates proportion, even in the presence of high density of roots and high biological activity. Use systems Forest and Pupunha with higher volume of roots reflected in better biological conditions.

Keywords: Volume of roots, soil structure, microbial biomass, Paraná coast.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem de satélite da área experimental contemplando os sistemas de uso do solo avaliados, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, localizada na área rural do município de Antonina – PR. Fonte: Google Earth/Satélite Astrium. Imagem em: 27/10/2014.....	4
Figura 2. Sistemas de uso do solo selecionados para o estudo, cultivados em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR. A – Milho; B – Pupunha; C – Floresta.	4
Figura 3. A - Processo de coleta do monólito de solo com a placa de pregos; B - Lavagem da placa com jato de água e C - Resultado da arquitetura radicular do monólito.....	6
Figura 4. Imagens da arquitetura das raízes dos sistemas de uso do solo, em quatro repetições, na profundidade 0-36 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR, obtidas pelo software IDRISI Selva 17.0. A – Milho em manejo convencional, B – Pupunha em preparo conservacionista, C – Floresta nativa. 12	
Figura 5. Atributos biológicos do solo: A – Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) [CV: 22, 32 e 22% para 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm respectivamente]; B – Respiração basal do solo (C-CO ₂) [CV: 19, 16 e 18%]; C – Quociente metabólico (qCO ₂) [CV: 18, 23 e 13%]; D – Quociente microbiano (qMic) [CV: 19, 30 e 33%], em três sistemas de uso solo, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distófico, no município de Antonina – PR.	19
Figura 6. Análise de componentes principais (ACP) entre as variáveis dependentes (sistemas e profundidades) e variáveis resposta (carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO ₂), quociente metabólico (qCO ₂), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), polissacarídeos totais (PST), fósforo disponível (P), potássio (K ⁺), cálcio (Ca ⁺²), magnésio (Mg ⁺²) trocáveis, pH em CaCl ₂ , diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu), areia, silte, argila, C:N, nitrogênio da raiz (Nr), carbono orgânico da raiz (CO _r), densidade de comprimento da raiz (DCr), volume da raiz (Vr), comprimento da raiz (Cr) e área da raiz (Ar) em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico de uso e adubação dos sistemas Milho e Pupunha.	5
Tabela 2. Levantamento fitossociológico das espécies arbóreas do sistema Florestal com diâmetro na altura do peito ≥ 5 cm e índices ecológicos, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.....	8
Tabela 3. Densidade de comprimento de raízes (DCr), área de raízes (Ar) e volume de raízes (Vr) e classe de diâmetro ponderado de raízes obtidos pelo software SAFIRA, carbono MAS, nitrogênio (N) e relação C:N das raízes em três sistemas de uso, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15, e 15 a 36 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.	13
Tabela 4. Estimativa da matéria seca da parte aérea, de raízes de 0 a 36 cm, das plantas espontâneas e da serapilheira; relação raízes: parte aérea (R:PA) e lignina nas raízes nos sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.	15
Tabela 5. Atributos de fertilidade e granulometria do solo em três sistemas de uso, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.	16
Tabela 6. Proporção de agregados estáveis em água em classes de diâmetro, diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e Polissacarídeos Totais (PST) e Relação carbono: nitrogênio do solo – (C:N) em três sistemas de uso do solo, nas profundidade 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.	18

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice 1. Análise de variância para os valores médios dos atributos de raízes: densidade de comprimento de raízes (DCr), volume de raízes (Vr), área de raízes (Ar), relação carbono:nitrogênio de raízes (C:Nr), carbono orgânico de raízes (COr), nitrogênio de raízes (Nr), diâmetros de raízes: $< 0,5$ mm; $2 < \emptyset < 5$ mm, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 36 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.....38
- Apêndice 2. Análise de variância para os valores médios dos atributos do solo: diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu), distribuição de agregados em classes de diâmetro: 8-2 mm, 2-0,25 mm, 0,25-0,053 mm, $< 0,053$ mm, argila e silte nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.....39
- Apêndice 3. Análise não paramétrica pelo teste de Friedman a 5% para os valores médios dos atributos granulométricos: areia total, areia grossa, areia fina, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.....41
- Apêndice 4. Análise de variância para os valores médios dos atributos químicos: carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total do solo (NT), relação carbono:nitrogênio do solo (C:Ns), polissacarídeos totais do solo (PST) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. * significativo a 5%; ns: não significativo.....43
- Apêndice 5. Análise de variância para os valores médios dos atributos da fertilidade do solo: fósforo disponível (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), pH, acidez potencial (AL+H), alumínio (Al), CTC pH 7 (T), soma de bases (SB), saturação de bases (V%), nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.....44
- Apêndice 6. Análise de variância para os valores médios dos atributos biológicos: carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano ($qMic$) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.....46
- Apêndice 7. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis biológicas, químicas, físicas e atributos de raízes. *** significativo a 1 %, ** significativo a 5 % e * significativo a 10 %.....47

Apêndice 8. Diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu); distribuição de agregados em classe de diâmetro; porcentagem de colonização de fungos micorrízicos arbusculares (% FMA); polissacarídeos totais (PST) e respiração basal (C-CO ₂) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.....	49
Apêndice 9. Carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total do solo (NT), carbono orgânico de raízes (COR), nitrogênio de raízes (Nr), matéria seca de raízes (MSr), comprimento de raízes (Cr), densidade de comprimento de raízes (DCr), volume de raízes (Vr) e área de raízes (Ar) em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.....	52
Apêndice 10. Indicadores de fertilidade do solo: pH em CaCl ₂ , índice SMP, alumínio (Al ⁺³), acidez potencial (Al+H), cálcio (Ca ⁺²), magnésio (Mg ⁺²) e potássio (K ⁺) trocáveis e fósforo disponível (P) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.....	54
Apêndice 11. Teores de argila, silte, areia total, areia grossa e areia fina nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.....	55
Apêndice 12. Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e densidade do solo nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.....	56
Apêndice 13. Análise de variância para matéria seca de raízes (MSr) em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%.....	59
Apêndice 14. Microscopia óptica da colonização de fungos endofíticos em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.....	60
Apêndice 15. Procedimento de aquisição dos dados de atributos de raízes no programa Safira: escaneamento, segmentação, transformação de distância, esqueleto e esqueleto colorido.....	61
Apêndice 16. Obtenção das imagens da arquitetura de raízes pelo software IDRISI Selva 17.0.....	63
Apêndice 17. Matéria seca da parte aérea das espécies que compõe os sistemas de uso, da vegetação espontânea da entrelinha no Pupunha e da serapilheira na Floresta, em três sistemas de uso do solo.....	69
Apêndice 18. Descrição dos perfis representativos de CAMBISSOLO Háplico Tb distrófico típico em três sistemas de uso do solo, no município de Antonina – PR.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS

APA	Área de Preservação Permanente
Ar	Área de raízes
C	Carbono
C:N	Relação carbono:nitrogênio do solo
C:Nr	Relação carbono:nitrogênio de raízes
C-BMS	Carbono da biomassa microbiana do solo
C-CO ₂	Respiração basal do solo
CO _r	Carbono orgânico de raízes
COT	Carbono orgânico total
Cr	Comprimento de raízes
CTC	Capacidade de troca catiônica
CV	Coefficiente de variação
DAP	Diâmetro na altura do peito
DCr	Densidade de comprimento de raízes
DMPu	Diâmetro médio ponderado úmida
DMS	Diferença média significativa
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MSa	Matéria seca da parte aérea
MSr	Matéria seca de raízes
N	Nitrogênio
N.E	Não existente
Nr	Nitrogênio de raízes
Ns	Não significativo
NT	Nitrogênio total
Ø	Diâmetro
PST	Polissacarídeos totais
qCO ₂	Quociente metabólico
qMic	Quociente microbiano
SB	Soma de bases
T	CTC pH 7
V	Saturação de bases
Vr	Volume de raízes

1. INTRODUÇÃO

O manejo inadequado da estrutura do solo visando alta produtividade tem provocado alterações nas propriedades físicas do solo (Bertol et al., 2004). A estrutura do solo é um fator importante na funcionalidade do ambiente, pois intermedia processos biológicos, físicos e químicos e influencia diretamente na porosidade e, conseqüentemente, nas trocas gasosas, na infiltração, na susceptibilidade à erosão e na disponibilidade de água para as plantas (Haynes & Beare, 1997).

Entre os componentes formadores da estrutura do solo estão os minerais, a matéria orgânica, as raízes e a fauna edáfica (Six et al., 2000). Ocorrem interações entre esses componentes que criam condições biológicas, físicas e químicas, decorrente do metabolismo da fauna e das raízes, que excretam e exsudam agentes cimentantes, os quais favorecem a estabilidade e a formação de macro e microagregados, em função da ação do cimento nas partículas minerais do solo e do enredamento radicular (Miller & Jastrow, 1990; Wiesmeier et al., 2012).

As raízes promovem significativa contribuição no aporte de carbono orgânico do solo em subsuperfície pela liberação de exsudatos e pela decomposição do material vegetal de raízes (Rasse et al., 2005). Os exsudatos radiculares são fontes de nutrientes para os microrganismos que também excretam polissacarídeos, resultantes do metabolismo, e que interagem com os exsudatos promovendo alterações bioquímicas nas proximidades das raízes estimulando a associação de fungos micorrízicos. Essas interações resultam na liberação de produtos miceliais que, somados aos exsudatos, potencializam a microagregação do solo (Haynes & Beare, 1997).

A decomposição do material vegetal de raízes mortas é mais lenta, devido à composição química da lignina e celulose (Scharroba et al., 2012). Essa resistência à degradação faz das raízes uma fonte de carbono mais duradoura para a microbiota e, por ocuparem os poros dos agregados, agem na proteção do carbono orgânico aumentando seu tempo de permanência no solo (Rasse et al., 2005). Após o período de decomposição, as galerias antes ocupadas pelo sistema radicular tornam-se bioporos, contribuindo com a macroagregação e a infiltração de água e trocas gasosas (Haynes & Beare, 1997; Lu et al. 2003). Segundo Six et al. (2004), a estruturação do solo é resultado dessa interação benéfica com a fauna edáfica e a presença de raízes, o que proporciona aumento no estoque da matéria orgânica e na atividade biológica. O processo de agregação do solo, segundo Bronick & Lal (2005), é resultado do rearranjo das partículas do solo com a matéria orgânica particulada somada aos agentes cimentante

provenientes do metabolismo da fauna, dos microrganismos e dos exsudatos de raízes (Giannopoulos et al., 2010). Siddyki et al. (2012) em estudos relacionando a microfauna e a agregação do solo, encontraram correlações significativas e apontaram a importância em considerar as interações dos diferentes grupos da biota para compreender a estrutura do solo.

A biomassa microbiana tem sido utilizada como um indicador de qualidade do solo (Matsuoka et al., 2003; Araújo & Monteiro, 2007), devido à capacidade de responder rapidamente às alterações no solo resultantes dos sistemas de manejo, que, geralmente, afetam a densidade, a diversidade e a atividade da população microbiana intensificando ou retardando os processos de decomposição e mineralização em diferentes usos do solo (Powlson et al., 1987). Mendes et al. (2003) estudaram a distribuição da biomassa microbiana em macro e microagregados sob diferentes sistemas de uso e concluíram que, em sistemas que promovem a quebra de agregados, houve perda do carbono da biomassa microbiana em relação às áreas não perturbadas. Perdas da matéria orgânica estão relacionadas a práticas agrícolas inadequadas que alteram importantes atributos biológicos, físicos e químicos do solo como a destruição dos agregados, perda de carbono e a diminuição da atividade da biomassa microbiana (Roscoe & Buurman, 2003).

Diferentes sistemas de uso do solo podem alterar significativamente a quantidade e a qualidade da matéria orgânica por práticas agrícolas inadequadas. Tais práticas expõem à degradação a matéria orgânica, afetando diretamente a estrutura do solo, reduzindo o tamanho dos agregados, da microporosidade, da taxa de infiltração, e do desenvolvimento do sistema radicular da planta (Portella et al., 2012). Postma et al. (2014) estudaram a arquitetura das raízes de diferentes espécies para entender os mecanismos de interação das raízes com o solo e os nutrientes. Os autores encontraram periódicas renovações da arquitetura radicular e distribuição dos exsudatos no solo, em resposta a adaptações sob fatores de stress.

Outros estudos relacionaram a agregação do solo com raízes e suas interações em diferentes sistemas de usos do solo. Vezzani & Mielniczuk (2011) avaliaram diferentes sistemas de uso do solo e concluíram que práticas conservacionistas promovem maior adição de carbono e recupera a agregação do solo próximo a condição original nativa. Wendling et al. (2005) concluíram que o cultivo reduz a estabilidade de agregados em água, porém quando em sistemas sem preparo do solo, os índices de agregação aumentam em relação a sistemas com preparo convencional. Desta forma, este estudo tem por objetivo estudar a relação dos atributos da matéria vegetal de raízes em diferentes sistemas de uso e manejo do solo com a atividade microbiológica e a estabilidade dos agregados do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado numa propriedade rural, no município de Antonina, litoral norte do Paraná. A área está inserida na bacia hidrográfica do rio Pequeno e na APA de Guaraqueçaba, uma unidade de conservação federal de uso sustentável, que integra a maior porção contínua de Floresta Atlântica do país (Grise et al., 2009). O clima da região, segundo a classificação de Alvares et al. (2013) é do tipo Cfa, úmida subtropical com verão quente, e temperaturas médias do mês mais quente acima de 22 °C e nos meses mais frios as temperaturas mantêm-se entre 10 e 18 °C.

O relevo é suave ondulado com influência de deposição coluvial fluvial e presença de minerais intemperizados, sendo oriundo de material de origem novo. O solo foi classificado em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, segundo Santos et al. (2013).

2.1.1. Sistemas de uso, delineamento experimental e tratamentos

Três sistemas de uso do solo em três profundidades de solo: 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm foram avaliados sendo eles: Milho (*Zea mays*), situado nas coordenadas geográficas 25°16'32,24"S e 48°41'56,477"W, em sistema convencional com revolvimento de solo até aproximadamente 15 cm por enxada rotativa; Pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) situada nas coordenadas geográficas 25°16'29,74"S e 48°42'00,78"W em sistema conservacionista, com preparo de solo apenas na implantação e manejo com milho e hortaliças consorciadas até o primeiro ano de crescimento da pupunha; e um sistema Florestal situado nas coordenadas geográficas 25°16'26,15"S e 48°42'14,44"W de mata ciliar situada às margens do rio Pequeno que sofre contínuos ciclos de enchentes e aporte de sedimentos oriundos da dinâmica fluvial local (Figura 1). As distâncias entre os sistemas de uso foram: Milho a Pupunha: 180 m; Pupunha a Floresta: 350 m e Milho a Floresta: 530 m.

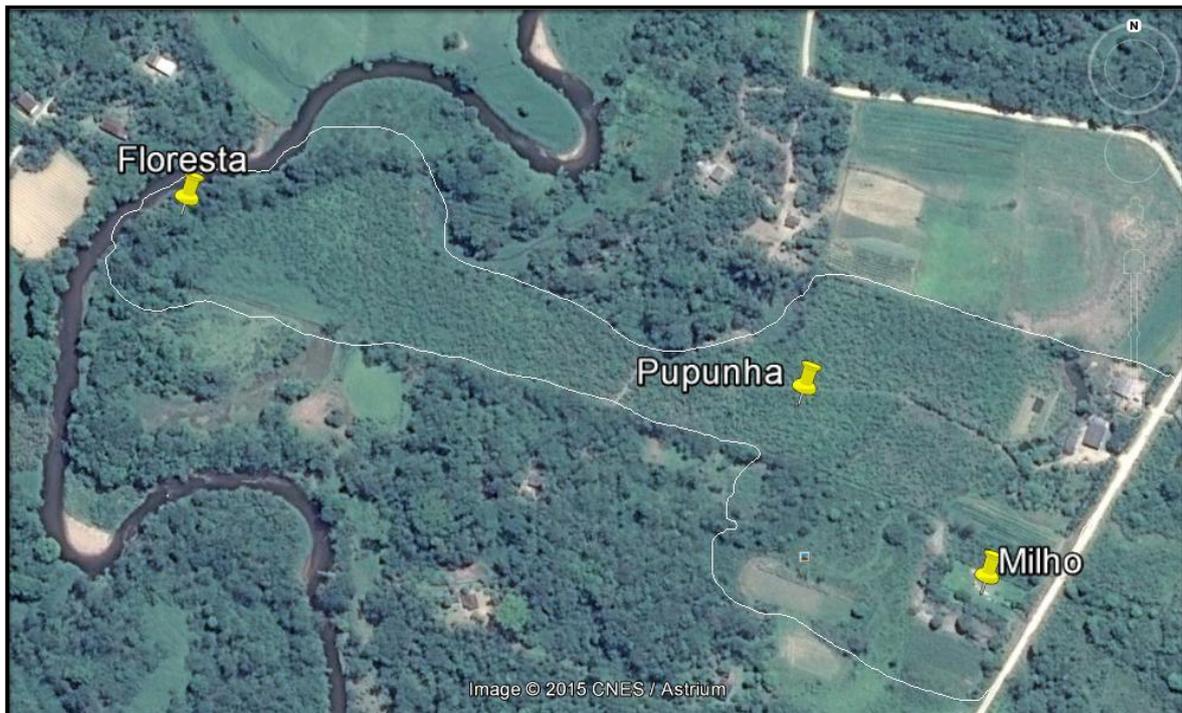


Figura 1. Imagem de satélite da área experimental contemplando os sistemas de uso do solo avaliados, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, localizada na área rural do município de Antonina - PR. Fonte: Google Earth/Satélite Astrium. Imagem em: 27/10/2014.

A Figura 2 apresenta a condição dos sistemas de uso do solo estudados. O delineamento experimental foi sistemático com quatro repetições, sendo que em cada sistema de uso foram delimitadas aleatoriamente quatro áreas com cerca de 36 m² que consistiram as repetições.



Figura 2. Sistemas de uso do solo selecionados para o estudo, cultivados em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR. A – Milho; B – Pupunha; C – Floresta.

2.1.2. Época de coleta, histórico e manejo dos sistemas

As coletas foram realizadas nos meses de março e abril de 2014, com o milho em estágio de enchimento de grãos e a pupunha com 16 meses de implantação. O histórico da área dos sistemas

de uso foi obtido a partir do ano de 2006, antes disso, segundo o agricultor, as áreas agrícolas eram utilizadas com pomar e capoeira (Tabela 1).

Tabela 1. Histórico de uso e adubação dos sistemas Milho e Pupunha.

Sistemas agrícolas	2006	2008	2011	2012	2013 a 2014	Adubação e calagem
Milho	Pomar sem roçada	Pomar sem roçada	Pomar sem roçada	PC + Hortaliças	PC + Milho	2012 – a lanço e na cova
Pupunha	Gengibre em PC até 2007	Pousio (capoeira)	Pousio (capoeira)	Pupunha em SC	Pupunha em SC	2006 e 2012 – a lanço e na cova

PC: Plantio convencional; **SC:** Sistema conservacionista.

Durante o período de estudo, o sistema Milho foi manejado com enxada rotativa na entrelinha para controle de plantas espontâneas, e no sistema Pupunha foi feita roçada mecânica na entrelinha, a cada 15 dias, sem revolvimento do solo e sem incorporação da matéria vegetal.

2.2. Atributos da matéria vegetal de raízes

Para os atributos de raízes, em cada um dos três sistemas de uso, foram abertas quatro trincheiras, nas entrelinhas de cada cultura (milho e pupunha) e aleatoriamente entre as árvores na floresta, nas dimensões aproximadas de 0,80 m largura x 0,60 m altura x 1,00 m comprimento para retirada de monólitos de solo, em placas de pregos, na entrelinha das culturas, buscando encontrar interação entre os sistemas radiculares, segundo a metodologia de Böhn (1979).

Utilizaram-se placas com dimensões de 36 cm de altura por 48 cm de largura, cravadas com pregos de 5 cm de comprimento em espaçamento uniforme, formando uma malha de 5 x 5 cm. Uma tela de metal, com malha de 0,5 x 0,5 cm, foi disposta na base da placa, entre os pregos, visando diminuir as perdas de raízes finas, quando lavadas. A placa, juntamente com os pregos e a malha, foram pintadas com tinta *spray* azul para facilitar o posterior tratamento das imagens.

Os monólitos de solo, coletados com as placas, foram lavados com auxílio de um jato de água, sob baixa pressão, até total retirada do solo e exposição do sistema radicular. Posteriormente, as placas com raízes foram fotografadas para utilizar as imagens no estudo da arquitetura das raízes.

A Figura 3 ilustra o procedimento realizado. Após obtenção da imagem das raízes nas placas, as raízes foram cortadas nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 36 cm e, então, acondicionadas em álcool 50% para as análises futuras dos atributos de raízes.

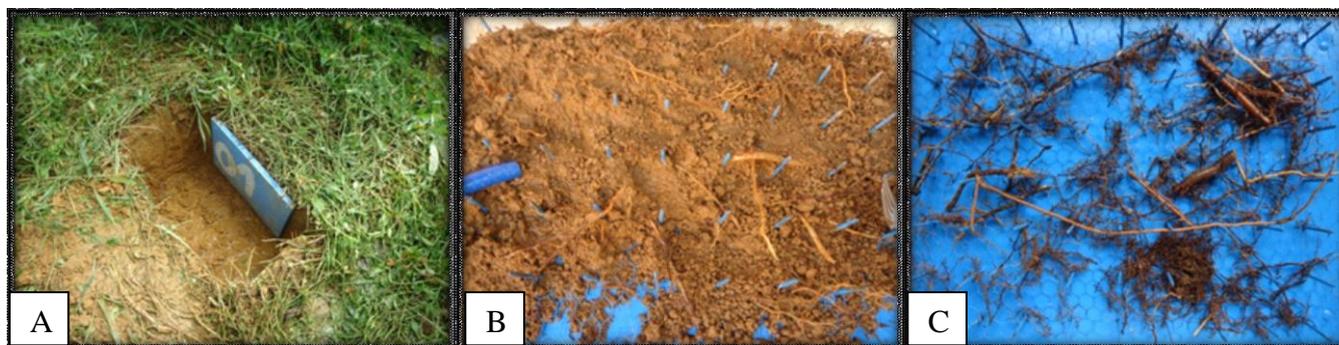


Figura 3. A - Processo de coleta do monólito de solo com a placa de pregos; B - Lavagem da placa com jato de água e C - Resultado da arquitetura radicular do monólito.

2.2.1. Arquitetura de raízes

As fotografias dos sistemas radiculares nas placas foram tratadas pelo software de geoprocessamento IDRISI Selva 17.0 (Clark Labs, 2012), que gerou imagens da distribuição do sistema radicular no perfil do solo.

2.2.2. Comprimento, área, volume, densidade, densidade de comprimento e diâmetro de raízes

As raízes de cada profundidade foram escaneadas em equipamento de scanner com resolução mínima de 200 dpi. As imagens foram tratadas pelo software SAFIRA (Jorge & Rodrigues, 2008) o qual calculou a área, o comprimento, o volume, a densidade e o diâmetro ponderado das raízes por profundidade. A densidade de comprimento foi obtida pela razão do comprimento das raízes e a volume do solo em cada profundidade. As raízes foram classificadas, segundo a proposta de Böhm (1979), em três classes de diâmetros: em raízes muito finas ($\varnothing < 0,5$ mm), em raízes finas ($\varnothing 0,5$ a 2 mm) e em raízes pequenas ($\varnothing 2$ a 5 mm).

2.2.3. Matéria seca de raízes

Para obtenção da matéria seca, após o escaneamento, as raízes foram pesadas e levadas à estufa de circulação forçada a 60 °C até total secagem e massa constante. As raízes foram novamente pesadas, para obter a massa seca, e moídas para avaliação de carbono, nitrogênio e lignina.

2.2.4. Carbono e nitrogênio das raízes

O carbono (C) e o nitrogênio (N) foram obtidos com a matéria seca de raízes de cada profundidade a qual foi moída, pesada e determinados C e N por combustão seca em analisador elementar (CHNOS), modelo Vario El III – elementar[®].

2.2.5. Lignina insolúvel

A lignina insolúvel foi obtida segundo a metodologia proposta por Morais et al. (2010).

2.3. Atributos da matéria vegetal

2.3.1. Matéria seca da parte aérea das culturas

A parte aérea das plantas de milho foi coletada em quatro áreas retirando-se a matéria fresca de quatro plantas ao longo de dois metros lineares.

A matéria seca da pupunha foi obtida pela coleta de seis plantas inteiras, as quais foram pesadas a campo e, posteriormente, separados o terço médio das folhas e os cilindros basal, médio e apical do caule para estimar o percentual de umidade, extrapolar para o total das plantas coletadas para obter então a matéria seca por hectare.

A matéria seca no sistema Floresta foi estimada por meio de duas equações alométricas: a proposta por Burger & Delitti (2008), específica para árvores da Mata Atlântica, que quantifica a matéria seca a partir do diâmetro na altura do peito (DAP) – 1,20 m e da altura total; e a proposta por Clement & Bovi (2000), específica para palmeiras, que considera apenas o DAP. Para obtenção do DAP e da altura total, árvores com DAP \geq 5 cm foram amostradas nas quatro áreas demarcadas.

Com auxílio de um gabarito de 0,50 x 0,50 cm foi amostrado a matéria vegetal das espécies espontâneas na entrelinha do sistema Pupunha: Capim doce (*Phalaris aquatica*) e Trapoeraba (*Commelina benghalensis*), e da serrapilheira no sistema Floresta. Os materiais da parte aérea do milho, pupunha, espontâneas e serrapilheira foram secos em estufa de circulação forçada a 60 °C até secagem total e pesados para obtenção da massa seca.

2.3.2. Caracterização botânica do sistema floresta

O nome popular, o nome científico e o número de indivíduos das árvores com DAP \geq 5 cm foram identificados e contabilizados nas quatro áreas amostrais. Estes dados foram utilizados para os cálculos dos índices ecológicos e de diversidade Shannon e de dominância de Simpson. O levantamento fitossociológico das árvores e os índices de diversidade estão na Tabela 2.

Tabela 2. Levantamento fitossociológico das espécies arbóreas do sistema Florestal com diâmetro na altura do peito ≥ 5 cm e índices ecológicos, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.

Nome vulgar	Família	Gênero/Espécie
Canela amarela	Lauraceae	<i>Nectandra lanceolata</i>
Guabiroba	Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>
Guapuruvu	Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i>
Juçara	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>
Pata de vaca	Fabaceae	<i>Bauhinia forficata</i>
Guaçatunga	Salicaceae	<i>Casearia lasiophylla</i>
Barrilheira	Solanaceae	<i>Acnistus arborencens</i>
Ingá feijão	Fabaceae	<i>Inga marginata</i>
Café bravo	Meliaceae	<i>Guarea macrophylla</i>
Trapiaeiro	Capparaceae	<i>Alchornia sidifolie</i>
Erva de anta	Rubiaceae	<i>Rudgea jasminoides</i>
	Simpson	0,93
	Shannon	3,27
Índices ecológicos	Riqueza (número de espécies ha ⁻¹)	1.528
	Densidade (número de indivíduos ha ⁻¹)	4.028

2.4. Atributos do solo

2.4.1. Coleta das amostras de solo

As coletas das amostras de solo foram feitas nas profundidades de 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em quatro pontos próximos aos locais de coleta das raízes por meio das placas de prego. Foram coletadas amostras deformadas para avaliação dos atributos biológicos, químicos, e amostras com estrutura preservada, para os atributos físicos relacionados aos agregados.

2.4.2. Análise química do solo

A análise química do solo seguiu a metodologia proposta por Marques & Motta (2003). Foram analisados fósforo disponível (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) trocáveis, alumínio trocável (Al⁺³) e pH em CaCl₂. O carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio total (NT) foram determinados por combustão seca em analisador elementar (CHNOS), modelo Vario El III – elementar[®].

2.4.3. Polissacarídeos totais do solo

Para a determinação dos teores de polissacarídeos totais no solo (PST) foi seguida a metodologia proposta por Lowe (1993).

2.4.4. Granulometria do solo

A análise granulométrica (areia grossa, areia fina, silte e argila) seguiu a metodologia da EMBRAPA (2011).

2.4.5. Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho e diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu).

A análise de distribuição de agregados com uso de múltiplas peneiras foi realizado em duplicata, a partir de amostras indeformadas. As amostras de solo foram destorroadas respeitando os pontos de fraqueza, sobre peneira de malha 8 mm, sendo, posteriormente, secas ao ar e a sombra. A distribuição dos agregados estáveis em água em classes de tamanho foi obtida seguindo o método descrito em Beare et al. (1994). Em seguida, foi realizada a pesagem das amostras de agregados e armazenados para as determinações de polissacarídeos.

O diâmetro médio ponderado foi calculado a partir da massa de agregados das classes obtidas por peneiramento úmido, após aplicação do fator de correção de umidade, segundo metodologia EMBRAPA (2011).

2.5. Atributos microbiológicos

As amostras de solo para análise dos atributos microbiológicos foram prontamente analisadas após o procedimento de coleta a campo. Para cada sistema e profundidade foram quantificadas a capacidade de retenção de água segundo Fabian & Ottoni Filho (2000) ajustada para 60% da sua capacidade de campo para as determinações dos atributos microbiológicos.

2.5.1. Respiração microbiana (C-CO₂)

Para a determinação da respiração microbiana, utilizou-se o método de Alef modificado (1995), após a incubação de 50 g de solo úmida e frasco contendo 10 mL NaOH (0,5 mol L⁻¹, padronizado com HCl) por um período de 7 dias em estufa a 25 °C. Neste método, o CO₂ produzido pela respiração dos microrganismos, reagiu com o hidróxido de sódio (NaOH) e o excedente foi titulado com HCl (0,5 mol L⁻¹). Para a titulação utilizou-se 2 mL de BaCl (50%) e 2 gotas de fenolftaleína (1%). A equação utilizada para cálculo da taxa de respiração foi a seguinte (Jenkinson & Powlson, 1976): C-CO₂ mg kg⁻¹ de mss h⁻¹: $\{[(b-a) \times N \times E \times 1000]/mss\}/h$, onde:

C-CO₂: Respiração basal do solo

b: volume de HCl gasto na prova em branco

a: volume de HCl gasto na amostra

E: equivalente do carbono: 6

N: normalidade do HCl

mss: massa de solo seco

h: horas de incubação

2.5.2. Carbono da biomassa microbiana por indução do substrato

A biomassa microbiana foi determinada a partir do método de Anderson & Domsch (1978), pela respiração induzida por glicose. Para o cálculo da taxa de respiração foi utilizada a equação: $C-CO_2$ mg kg^{-1} de mss h^{-1} : $\{(b-a) \times N \times E \times 1000\}/mss/h$, proposta por Jenkinson e Powlson (1976). Para calcular o carbono da biomassa microbiana utilizou-se a equação proposta por Anderson & Domsch (1978): $C-BMS$ (mg C kg^{-1}) = $30(b - a) \times [(k \times 22) / (1,8295 \times PA \times 4)]$ Onde:

C-BMS: carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg^{-1});

30: constante;

b: média do volume (mL) de HCl gasto para titular as provas em branco;

a: mL HCl gasto para titular as amostras;

k: concentração da solução HCl;

22: fator de conversão (1 mL de HCl 1 mol L^{-1} , corresponde a 22 mg de CO_2);

1,8295: densidade do CO_2 a 22 °C;

PA: massa das amostras (g de solo seco);

4: fator de conversão de 4 h para 1 h.

2.5.3. Quociente microbiano (q_{Mic})

A relação carbono microbiano e carbono orgânico total (COT) foi calculada para a obtenção do percentual de carbono fixado na biomassa dos microrganismos pela equação:

$$q_{Mic} (\%) = \frac{C-BMS \text{ (mg C kg}^{-1} \text{ mss)} \times 100}{\text{teor de COT (mg)}}$$

Onde:

q_{Mic} : Quociente microbiano;

C-BMS: carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg^{-1});

COT : Carbono orgânico total do solo (mg kg^{-1}).

2.5.4. Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico foi calculado pela razão da respiração microbiana em relação à biomassa microbiana.

$$qCO_2: \frac{C-CO_2 \text{ (mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ mss)}}{C-BMS \text{ (mg C kg}^{-1} \text{ mss)}}$$

Onde:

qCO_2 : Quociente metabólico

C-CO₂: Respiração basal do solo (mg C-CO₂ kg mss⁻¹)

C-BMS: carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg⁻¹ mss);

2.6. Análises estatísticas

As análises estatísticas avaliaram o efeito dos tratamentos analisando, separadamente, as profundidades de solo. A análise de variância foi inteiramente casualizada. Foram utilizados os programas ASSISTAT 7.7 beta e SigmaPlot 12.0. Os dados foram analisados quanto à normalidade pelo teste Shapiro-Wilk e Bartlett, e quando significativos comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para a granulometria, foi feita análise não paramétrica pelo teste de Friedman a 5%. Foi realizada análise de correlação de Pearson entre os atributos avaliados. A análise de componentes principais (ACP) foi obtida utilizando como variáveis dependentes os tratamentos e as profundidades e como variáveis resposta os atributos: C-BMS, C-CO₂, qCO_2 , COT, NT, PST, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², pH em CaCl₂, DMPu, areia, silte, argila, C:N, Nr, CO_r, DCr, Vr, Ar.

3. RESULTADOS

3.1. Atributos de raízes

3.1.1. Arquitetura, área de raízes (Ar), volume de raízes (Vr), densidade de comprimento de raízes (DCr) e diâmetro de raízes (\emptyset)

A distribuição visual das raízes demonstra superioridade do sistema Floresta (Figura 4 C), com melhor distribuição e adensamento de raízes que os sistemas Pupunha e Milho (Figura 4 A e 4 B).

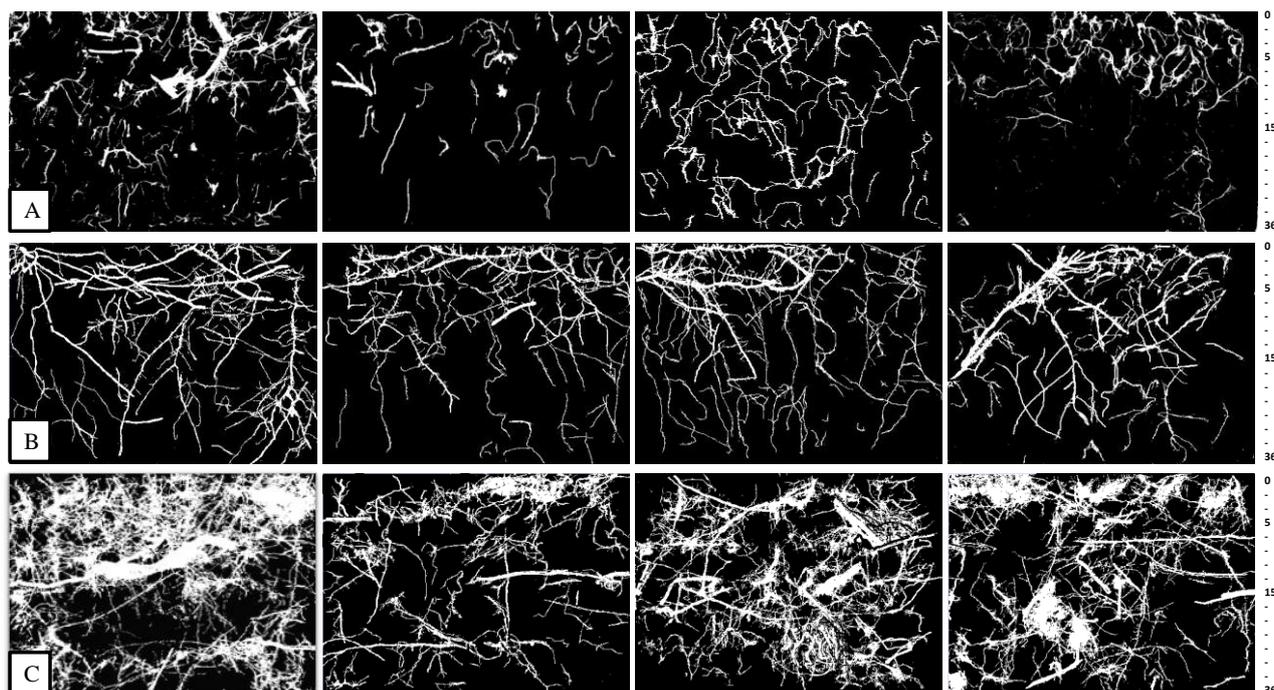


Figura 4. Imagens da arquitetura das raízes dos sistemas de uso do solo, em quatro repetições, na profundidade 0 a 36 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina - PR, obtidas pelo software IDRISI Selva 17.0. A - Milho em manejo convencional, B – Pupunha em preparo conservacionista, C – Floresta nativa.

Os atributos Vr e Ar foram significativos em todas as profundidades. O atributo DCr foi significativo nas profundidades 0 a 5 e 15 a 36 cm (Figura 4 e Tabela 2).

. O Vr e Ar foram maiores na seguinte ordem: Floresta > Pupunha > Milho, na profundidade 0 a 5 e Floresta > Pupunha e Milho em 15 a 36 cm. O Milho se diferenciou da Floresta em DCr, Ar e Vr em todas as profundidades, apresentando os menores valores. A Floresta obteve os maiores valores na profundidade 15 a 36 cm, superior em todos os atributos de raízes DCr, Vr, Cr, Ar e N em relação ao demais sistemas.

Tabela 3. Densidade de comprimento de raízes (DCr), área de raízes (Ar) e volume de raízes (Vr) e classe de diâmetro ponderado de raízes obtidos pelo software SAFIRA, carbono (C), nitrogênio (N) e relação C:N das raízes em três sistemas de uso, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15, e 15 a 36 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.

Sistemas	Atributos de Raízes			Classe de diâmetro (mm)					
	DCr cm cm ⁻³	Ar mm ² cm ⁻³	Vr cm ³ cm ⁻³	< 0,5 ----- % -----	0,5 a 2 ----- % -----	2 a 5 ----- % -----	C ----- g kg ⁻¹ -----	N ----- g kg ⁻¹ -----	C:N ----- g kg ⁻¹ -----
Profundidade 0 a 5 cm									
Milho	1,3 b *	14 c **	1,6 c **	98 ^{ns}	2 c **	N.E	388 b **	12 b **	31 b **
Pupunha	2,0 b	36 b	10,0 b	90	10 b	N.E	376 b	10 b	37 a
Floresta	3,8 a	73 a	15,0 a	79	20 a	1	418 a	21 a	21 c
DMS	2	26	5	830	3		17	4	6
CV (%)	38	28	23	60	22		2	14	10
Profundidade 5 a 15 cm									
Milho	0,7 ^{ns}	10 b *	1,2 b *	99 ^{ns}	1 b **	N.E	407 a **	12 b **	36 ab *
Pupunha	0,9	20 ab	6,2 ab	80	12 b	8	385 b	10 b	38 a
Floresta	1,6	35 a	9,6 a	76	21 a	3	424 a	19 a	23 b
DMS	1	47	14	15	53		20	5	13
CV (%)	45	46	52	35	48		2	20	20
Profundidade 15 a 36 cm									
Milho	0,2 b **	2 b **	0,4 b **	96 ^{ns}	4 b *	N.E	410 ^{ns}	12 b **	36 ab **
Pupunha	0,3 b	7 b	2,0 b	80	20 ab	N.E	382	9 b	42 a
Floresta	1,0 a	23 a	6,5 a	64	30 a	6	400	20 a	21 b
DMS	1	4	16	260	7		30	5	14
CV (%)	46	14	54	50	44		4	18	20

Letras comparam sistemas em cada profundidade pelo teste de Tukey a 5%. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns}: não significativo. DMS: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%. CV: coeficiente de variação. N.E: não existente.

3.1.2. Classificação das raízes por diâmetro

A maior proporção de raízes em todos os tratamentos foi no diâmetro (\emptyset) $< 0,5$ mm, consideradas muito finas (Tabela 3). As proporções de raízes com $\emptyset < 0,5$ não foram significativas em nenhuma profundidade

A classe de \emptyset entre 0,5 e 2 mm, foi significativo em todas as profundidades, onde a maior proporção de raízes nesse \emptyset foi na Floresta, com 20%, 21% e 30%, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 36 cm, respectivamente. Os demais sistemas apresentaram proporções inferiores comparadas à Floresta, sendo 2%, 1%, 4% para o Milho e 10%, 12% e 20% para o Pupunha ao longo das profundidades avaliadas.

As raízes com \emptyset entre 2 e 5 mm, classificadas como pequenas, foram raramente quantificadas, não sendo significativas para este estudo.

3.1.3. Carbono (C) e nitrogênio (N) nas raízes

Em relação ao teor de C das raízes, as profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm foram significativas (Tabela 3). Na profundidade 0 a 5 cm, as raízes da Floresta tiveram maior teor de C, 418 g C kg^{-1} , em relação aos demais tratamentos. Na profundidade 5 a 15 cm, os sistemas Floresta e o Milho obtiveram os maiores teores de C, 424 e 407 g C kg^{-1} , respectivamente, diferentes do sistema Pupunha com 385 g C kg^{-1} .

Para os teores de N das raízes, em todas as profundidades as diferenças entre os sistemas foram significativas. O sistema Floresta apresentou os maiores teores de N (21 , 19 e 20 g N kg^{-1}) em todas as profundidades, se diferenciando do sistema Milho (12 , 12 , e 12 g N kg^{-1}) e do Pupunha (10 , 10 e 9 g N kg^{-1}) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 36 cm, respectivamente.

A relação C:N foi significativa em todas as profundidades. Na profundidade 0 a 5 cm a ordem da maior para a menor C:N foi nos sistemas Pupunha $>$ Milho $>$ Floresta. Nas profundidades 5 a 15 e 15 a 36 cm, o sistema Pupunha apresentou as maiores relações C:N (38 e 42) comparadas ao sistema Floresta (23 e 21 , respectivamente).

3.1.4. Relação matéria seca de raízes e de parte aérea

A produção da matéria seca aérea (MSa) das culturas foi de $1,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o sistema Milho, $13,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ para o Pupunha e $12,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ para a Floresta (Tabela 4). A matéria seca de raízes (MSr) foi maior no sistema Floresta ($3,99 \text{ Mg ha}^{-1}$), seguido do

Pupunha (1,37 Mg ha⁻¹) e do Milho (0,14 Mg ha⁻¹). O sistema Floresta foi superior aos outros sistemas na produção de MSr cerca de 95% em relação ao Milho e 65% ao Pupunha. O teor de lignina nas raízes foi de 420 mg g⁻¹ de raízes para o sistema Floresta, 140 mg g⁻¹ para o Pupunha e 300 mg g⁻¹ para o Milho (Tabela 4).

A matéria seca (MS) de espécies espontâneas foi quantificada apenas no sistema Pupunha, 1,2 Mg ha⁻¹ sendo ausentes nos demais sistemas. Na Floresta foi quantificado a MS da serapilheira, 4,5 Mg ha⁻¹ e no Milho a matéria vegetal em superfície na entrelinha foi inexistente.

Tabela 4. Estimativa da matéria seca da parte aérea, de raízes de 0 a 36 cm, das plantas espontâneas e da serapilheira; relação raízes: parte aérea (R:PA) e lignina nas raízes nos sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina –

Sistemas	Matéria Seca				Relação R:PA	Lignina na raiz*
	Raízes *	Parte aérea	Espontâneas	Serapilheira		
	Mg ha ⁻¹ (0-36 cm)	Mg ha ⁻¹				mg g ⁻¹
Milho	0,14	1,9	N.E	N.E	0,08	300
Pupunha	1,37	13,5	1,2	N.E	0,10	140
Floresta	3,99	12,3	N.E	4,5	0,32	420

* Não foi possível fazer a análise estatística da lignina devido à quantidade de material vegetal das raízes insuficientes para as repetições. A análise estatística da matéria seca de raízes encontra-se no apêndice 13. N.E: não existente.

3.2. Atributos do solo

3.2.1. Granulometria

Os atributos argila, silte e areia (total, grossa e fina) foram significativos em todas as profundidades (Tabela 5). A Floresta foi superior ao Milho e Pupunha nos teores de areia total, praticamente dez vezes mais. Os sistemas Milho e Pupunha apresentaram os maiores teores de argila em todas as profundidades.

Tabela 5. Atributos de fertilidade e granulometria do solo em três sistemas de uso, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.

Sistemas	pH em CaCl ₂	Al+H	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	T	K ⁺	P disponível	V	Argila	Silte	Areia total	Areia grossa	Areia fina
		----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----			%	----- g kg ⁻¹ -----				
Profundidade 0 a 5 cm															
Milho	4,5 ab *	6,3 ^{ns}	0,7 ^{ns}	3,8 ^{ns}	1,3 b *	5 ^{ns}	11 ^{ns}	85 a **	31 a *	45 b *	497 a **	456 a **	47 b #	4 b #	43 b #
Pupunha	5,1 a	4,7	0,1	4,6	2,3 a	7	12	146 a	26 a	61 a	544 a	413 ab	44 b	5 b	38 b
Floresta	4,3 b	5,9	0,7	3,1	1,4 b	5	10	20 b	7 b	44 b	253 b	344 b	403 a	68 a	355 a
DMS	1	1	0,1	2	1	3	3	4	15	18	56	74	3	3	4
CV (%)	8	69	18	30	23	28	13	26	37	18	7	9	----	----	----
Profundidade 5 a 15 cm															
Milho	4,7 ^{ns}	6,5 ^{ns}	0,9 ^{ns}	3,6 ^{ns}	1,2 b **	5 ab *	11 ^{ns}	57 ab *	29 a *	43 ab *	500 a **	450 a **	50 b #	4 b #	46 b #
Pupunha	5,0	4,6	0	4,5	2,2 a	7 a	11	140 a	17 ab	61 a	544 a	413 a	44 b	6 b	37 b
Floresta	4,3	6,3	1	1,9	0,8 b	2 b	9	37 b	7 b	31 b	263 b	344 b	394 a	63 a	331 a
DMS	1	1	2	3	1	3	2	5	16	20	72	61	3	3	3
CV (%)	13	67	20	42	22	35	10	30	45	21	8	8	----	----	----
Profundidade 15 a 30 cm															
Milho	4,8 ab *	6,6 ^{ns}	1 ^{ns}	4,5 ^{ns}	1,0 b **	6 ^{ns}	12 ^{ns}	47 ab **	6 ^{ns}	46 ^{ns}	475 a **	475 a *	50 b #	7 b #	43 b #
Pupunha	5,2 a	4,4	0,1	4,4	2,0 a	7	11	94 a	8	60	544 a	413 ab	44 b	6 b	38 b
Floresta	4,2 b	6,3	0,8	2,1	0,9 b	3	9	22 b	6	32	259 b	368 b	413 a	84 a	329 a
DMS	1	1	3	1	1	5	3	0,1	2	35	88	100	2	4	3
CV (%)	10	58	31	31	35	53	16	27	40	44	11	12	----	----	----

Letras comparam sistemas em cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns}: não significativo. DMS: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%. CV: coeficiente de variação. # Teste Friedmam a 5%. ----: o teste t não gera CV.

3.2.2. Atributos de fertilidade no solo

Em relação ao pH do solo, a Floresta e o Pupunha se diferenciaram nas profundidades 0 a 5 e 15 a 30 cm com o pH mais ácido para a Floresta (Tabela 5). Os teores de magnésio trocável (Mg^{+2}) foram superiores para o Pupunha e significativos em todas as profundidades (2,3; 2,2 e 2,0 $cmol_c Mg^{+2} dm^{-3}$, respectivamente). O Milho e o Pupunha tiveram valores de fósforo disponível (P) (31 e 26 $mg P dm^{-3}$, respectivamente) superiores à Floresta (7 $mg P dm^{-3}$) na profundidade 0 a 5 cm. O Milho se diferenciou da Floresta com maior teor de P trocável (29 $mg P dm^{-3}$) na profundidade 5 a 15 cm, quando a Floresta apresentou os menores teores (7 $mg P dm^{-3}$). Para o potássio trocável (K^+), todas as profundidades foram significativas. Na profundidade 0 a 5 cm, o Milho e o Pupunha (85 e 146 $mg K^+ dm^{-3}$, respectivamente) tiveram os maiores teores. Na profundidade 5 a 15 cm, o Pupunha (140 $mg K^+ dm^{-3}$) foi superior em relação a Floresta (37 $mg K^+ dm^{-3}$), e na profundidade 15 a 30 cm o Pupunha teve o maior teor de K^+ (94 $mg K^+ dm^{-3}$) em relação à Floresta (22 $mg K^+ dm^{-3}$). A saturação de bases (V%) foi significativa nas profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm, no qual o sistema Pupunha foi superior a Floresta. O cálcio (Ca^{+2}), alumínio trocável (Al^{+3}) e CTC pH7 (T) não foram significativos para nenhuma profundidade dos sistemas de uso.

3.2.3. Distribuição de agregados em classes de diâmetro

A proporção dos agregados em classe de diâmetro de 8-2 foi significativa para os sistemas de uso nas profundidades 0 a 5 e 15 a 30 cm (Tabela 6).

A proporção de agregados com diâmetros entre 2-0,25 mm foi significativa em todas as profundidades. Nessa classe de agregados, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm, respectivamente, o sistema Floresta (39 e 39 $g 100 g^{-1}$) e Milho (34 e 38 $g 100 g^{-1}$) foram superiores ao sistema Pupunha (20 e 28 $g 100 g^{-1}$). E na profundidade 15 a 30 cm, todos os sistemas se diferenciaram, de forma que o Pupunha teve a maior proporção de agregados na classe 2-0,25 mm (45 $g 100 g^{-1}$), seguido da Floresta (35 $g 100 g^{-1}$) e do Milho (27 $g 100 g^{-1}$).

As classes de microagregados 0,25-0,053 mm não foram significativas para nenhuma das profundidades. A classe < 0,053 foi significativa apenas na profundidade 15 a 30 cm com superioridade do sistema Pupunha (4,4 $g 100 g^{-1}$) em relação aos sistemas Milho e Floresta (1,9 e 2,1 $g 100 g^{-1}$ respectivamente).

Tabela 6. Proporção de agregados estáveis em água em classes de diâmetro, diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu), Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e Polissacarídeos Totais (PST) e Relação carbono: nitrogênio do solo – (C:N) em três sistemas de uso do solo, nas profundidade 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.

Sistemas	Classe de agregados (mm)				DMPu mm	COT g kg ⁻¹	NT g kg ⁻¹	PST	C:N
	8-2	2-0,25	0,25-0,053	<0,053					
Profundidade 0 a 5 cm									
Milho	59 ab *	34 a *	3,7 ^{ns}	3,3 ^{ns}	3,4 ab **	24 ^{ns}	2 ^{ns}	25 ^{ns}	10 a **
Pupunha	73 a	20 b	3,9	3,1	4,2 a	20	2	23	9 b
Floresta	52 b	39 a	5,5	3,5	2,6 b	20	2	17	10 a
DMS	9	7	2	2	1,0	7	1	7	1
CV (%)	15	22	57	37	13	17	18	17	4
Profundidade 5 a 15 cm									
Milho	57 ^{ns}	38 a **	3,4 ^{ns}	1,6 ^{ns}	3,2 ab *	22 ^{ns}	2 ^{ns}	21 ^{ns}	10 a *
Pupunha	62	28 b	6,1	3,9	3,5 a	18	2	19	9 b
Floresta	55	39 a	3,9	2,7	2,8 b	20	2	17	10 ab
DMS	6	6	1	2	1,0	6	1	10	1
CV (%)	10	17	34	37	9,0	16	15	24	5
Profundidade 15 a 30 cm									
Milho	68 a **	27 c **	3,1 ^{ns}	1,9 b *	3,9 a **	15 ^{ns}	2 ^{ns}	18 ^{ns}	9 ^{ns}
Pupunha	44 c	45 a	6,6	4,4 a	2,5 b	16	2	20	9
Floresta	58 b	35 b	4,9	2,1 b	3,0 ab	13	1	17	9
DMS	8	5	3	3	1	4	1	6	1
CV (%)	15	16	60	49	14	15	12	17	6

Letras comparam sistemas em cada profundidade pelo teste de Tukey a 5%. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns}: não significativo. DMS: diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5%. CV: coeficiente de variação.

3.2.4. Diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu)

O DMPu foi significativo em todas as profundidades (Tabela 6). O sistema Pupunha foi superior ao sistema Floresta com maiores DMPus 4,2 e 3,5 mm nas profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm, respectivamente. Enquanto a Floresta, nessas mesmas profundidades, teve os menores DMPus, 2,6 e 2,8 mm, respectivamente. Na profundidade 15 a 30 cm, o maior DMPu foi no Milho com 3,9 mm, e na Floresta com 2,5 mm seguido pelo menor no Pupunha com 2,5 mm.

Os resultados para COT, NT e PST nos sistemas de uso não foram significativos em nenhuma profundidade (Tabela 5). Os valores para a relação C:N foram significativos nas profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm. A relação C:N na profundidade 0 a 5 cm foi semelhante para os sistemas Milho e Floresta (10), diferentes do Pupunha (9,0). Na profundidade 5 a 15 cm, o sistema Milho se diferencia do Pupunha com maior relação C:N (10 e 9, respectivamente). Na profundidade 15 a 30 cm, a relação C:N não foi significativa.

3.3. Atributos microbiológicos do solo

Os valores dos atributos biológicos e a comparação de médias entre os sistemas de uso do solo nas profundidades encontram-se na Figura 5.

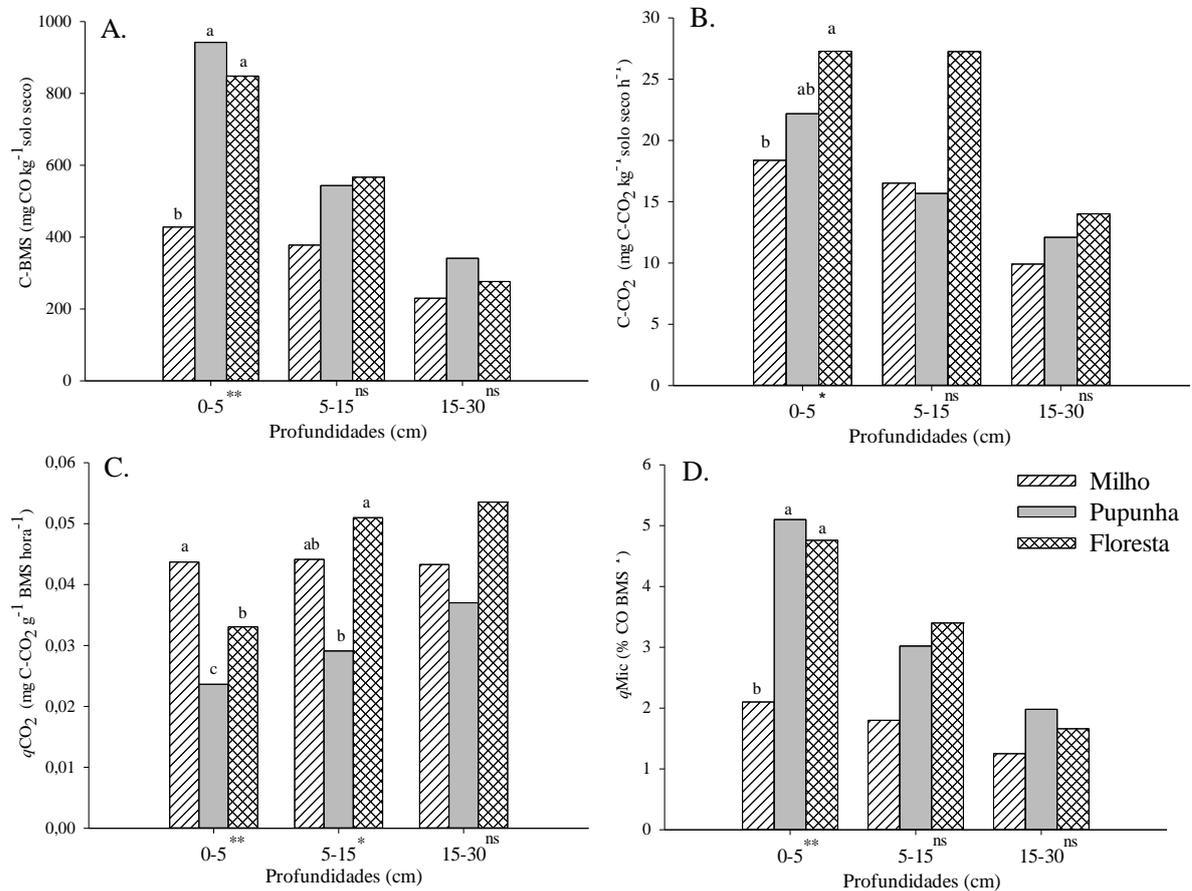


Figura 5. Atributos biológicos do solo: A - Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) [CV: 22, 32 e 22% para 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm respectivamente]; B - Respiração basal do solo (C-CO₂) [CV: 19, 16 e 18%]; C - Quociente metabólico (q_{CO_2}) [CV: 18, 23 e 13%]; D - Quociente microbiano (q_{Mic}) [CV: 19, 30 e 33%], em três sistemas de uso solo, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico, no município de Antonina – PR.

Letras comparam sistemas em cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ^{ns}: não significativo.

Os maiores teores de carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foram na profundidade 0 a 5 cm. O C-BMS no sistema Pupunha (942 mg C kg⁻¹ solo) e Floresta (848 mg C kg⁻¹ solo) foram similares entre si e diferentes do sistema Milho (428 mg C kg⁻¹ solo). O C-BMS entre os sistemas de uso nas profundidades 5 a 15 e 15 a 30 cm não foram significativos, os valores para os sistemas de uso foram 338, 543 e 567 mg C kg⁻¹ solo em 5 a 15 cm; e 230, 340 e 276 mg C kg⁻¹ solo em 15 a 30 cm, para Milho, Pupunha e Floresta respectivamente. Em relação à respiração basal do solo (C-CO₂) apenas a profundidade 0 a 5 foi significativa sendo o sistema Floresta superior ao sistema Milho (27 e 18 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo, respectivamente) (Figura 5 B).

O quociente metabólico (qCO_2) foi significativo nas profundidade 0 a 5 e 5 a 15 cm. Na profundidade 0 a 5 cm foi maior no sistema Milho, seguido por Floresta e Pupunha, sendo os valores 0,044; 0,033 e 0,024 mg C-CO₂ g⁻¹ BMS hora⁻¹, respectivamente. Na profundidade 5 a 15 cm, o sistema Floresta apresentou o maior qCO_2 (0,051 mg C-CO₂ g⁻¹ BMS hora⁻¹), já o sistema Milho teve qCO_2 intermediário (0,044 mg C-CO₂ g⁻¹ BMS hora⁻¹) e o Pupunha, o menor qCO_2 (0,029 mg C-CO₂ g⁻¹ BMS hora⁻¹). Na profundidade 15 a 30 cm, o qCO_2 não foi significativo entre os sistemas, sendo 0,043; 0,037 e 0,054 mg C-CO₂ g⁻¹ BMS hora⁻¹ para os sistemas Milho, Pupunha e Floresta respectivamente (Figura 5 C)..

Os maiores percentuais de $qMic$, na profundidade 0 a 5 cm, foram encontrados nos sistemas Pupunha e Floresta (5,1 e 4,8 % CO BMS⁻¹, respectivamente), e o menor (2,1% CO BMS⁻¹) no Milho. Nas demais profundidades, o $qMic$ não foi significativo sendo 1,8; 3,0 e 3,4% CO BMS⁻¹ na profundidade 0 a 5 cm e 1,2; 2,0 e 1,6% CO BMS⁻¹ na profundidade 15 a 30 cm, para os sistemas Milho, Pupunha e Floresta respectivamente (Figura 5 D).

3.4. Análise de componentes principais

O resultado da análise de componentes principais ACP (Figura 6) revelou que 39,2% da variabilidade dos dados na componente principal 1 (CP 1) foi explicado pela textura (areia, silte e argila), atributos de raízes (Ar, Vr e MSr), Ca⁺² e Mg⁺². Na CP 2, as variáveis Nr, CO_r, DMPu e C:N explicam 14,9% da variação. O grupo 1 formado pelos sistemas Milho e Pupunha se relacionaram com atributos químicos (COT, NT, P, PST) e DMPu, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm. O grupo 2 formado exclusivamente pela Floresta, em todas as profundidades está relacionado aos teores de areia e revelam íntima relação da textura com atributos de raízes. Os atributos biológicos não se relacionaram com os sistemas de uso, no

entanto se relacionaram com silte, argila, pH e, CaCl_2 , Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ . A profundidade 15 a 30 cm, nos sistemas Milho e Pupunha formaram o grupo 3 relacionado ao Nr, CO_r.

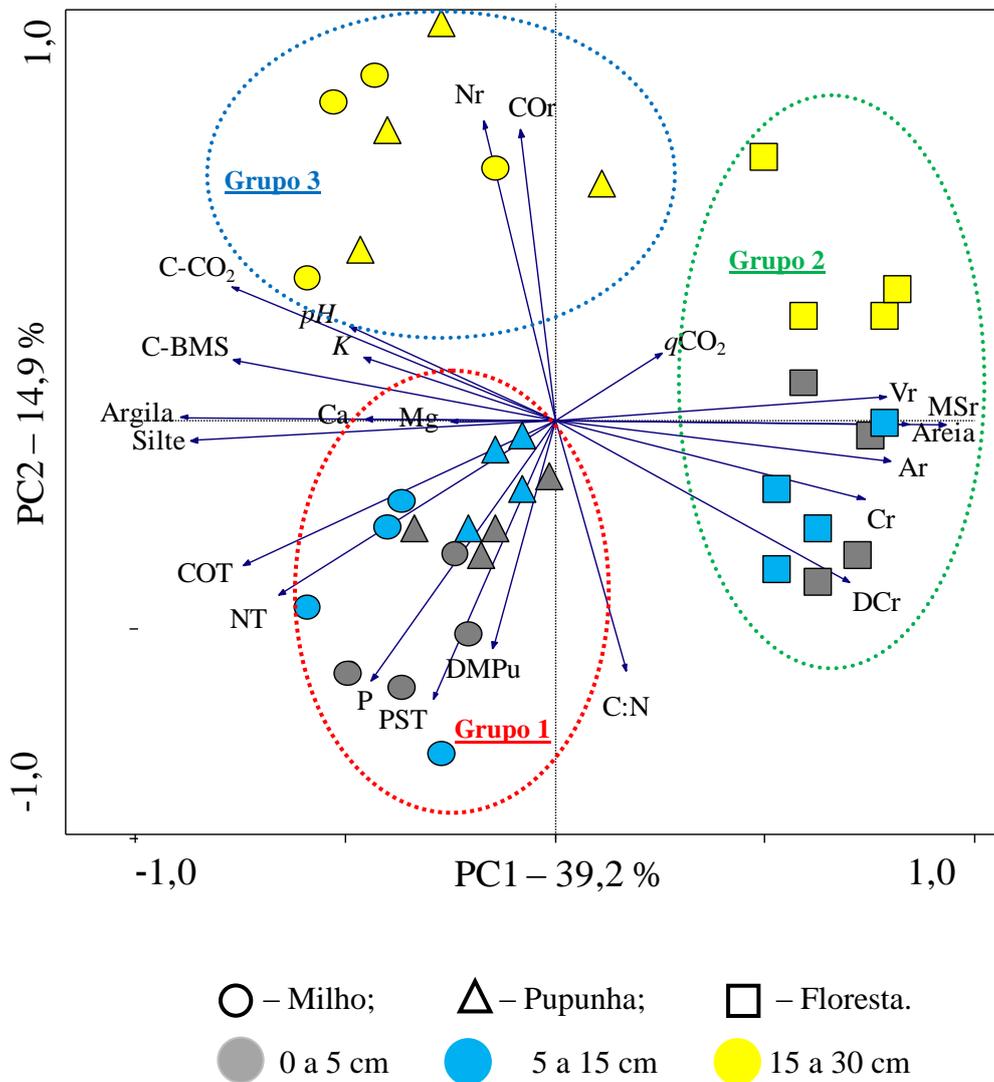


Figura 6. Análise de componentes principais (ACP) entre as variáveis dependentes (sistemas e profundidades) e variáveis resposta (carbono da biomassa microbiana (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), polissacarídeos totais (PST), fósforo disponível (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}) trocáveis, pH em CaCl_2 , diâmetro médio ponderado de agregados via úmida (DMPu), areia, silte, argila, C:N, nitrogênio da raiz (Nr), carbono orgânico da raiz (CO_r), densidade de comprimento da raiz (DCr), volume da raiz (Vr), comprimento da raiz (Cr) e área da raiz (Ar) em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina - PR.

4. DISCUSSÃO

4.1. Distribuição e atributos de raízes no perfil

O padrão da arquitetura das raízes nos sistemas Floresta (Figura 5 C) e Pupunha (Figura 5 B) apresentaram melhor distribuição lateral e vertical das raízes em decorrência do não revolvimento do solo e incremento de raízes da vegetação de cobertura. A ausência de revolvimento conservou as raízes de espécies espontâneas, especialmente no sistema Pupunha (Tabela 4).

Independente do sistema de uso do solo, a maior proporção de raízes se concentrou até a profundidade de 15 cm (Figura 4 e Tabela 3). Alguns autores estudaram a distribuição radicular das espécies milho, pupunha e de espécies da floresta Atlântica (Fante & Reichardt, 1994; Ferreira et al., 1995; Bordin et al., 2008; Ramos et al., 2009; Rosado et al., 2011; Lopes et al., 2014) e concluíram que os principais fatores que influenciam na forma e na distribuição do sistema radicular foram a estrutura do solo e a disponibilidade de água e nutrientes, resultando em maior densidade de raízes nas primeiras profundidades do solo.

Os atributos de raízes em todas as profundidades avaliadas (Tabela 3) foram superiores na Floresta em relação aos demais sistemas. A diversidade de plantas na Floresta, confirmada pelos índices ecológicos de Shannon e Simpson (Tabela 2) e o não revolvimento do solo promoveram maior densidade de comprimento de raízes (DCr), refletindo positivamente no volume (V_r), na área (A_r) e no diâmetro (\emptyset) de raízes (Tabela 3). O agrupamento dos atributos radiculares no sistema Floresta com a textura (Figura 6) em todas as profundidades e as correlações entre V_r , e A_r com o teor de areia significativo e classificado como alta, $r: 0,69$ e $0,77$ ($p < 0,01$) [Apêndice 7] respectivamente, indicam que a textura influenciou a distribuição e o desenvolvimento das raízes.

Rosado et al. (2011) encontraram, em floresta ombrófila densa de terras baixas, densidade de comprimento radicular menor que 5 cm cm^{-3} na profundidades 0 a 5 cm, similar ao encontrado neste estudo, que foi $3,8 \text{ cm cm}^{-3}$, na profundidade 0 a 5 cm. Mello Ivo & Mielniczuk (1999) avaliaram raízes do milho em preparo convencional e em plantio direto e encontraram na profundidade 0 a 5 cm, densidade de comprimento radicular de $1,7$ e $4,2 \text{ cm cm}^{-3}$ respectivamente, similar ao encontrado para o sistema convencional do milho neste estudo de $1,3 \text{ cm cm}^{-3}$.

Independente da profundidade da amostragem, nos três sistemas de uso houve maior ocorrência de raízes finas e muito finas com $\emptyset < 2 \text{ mm}$ e predominância de $\emptyset < 0,5 \text{ mm}$

(Tabela 3). Essa proporção de raízes muito finas é favorável, pois exploram maior volume de solo, possuem rápida taxa de renovação e quando morrem tornam-se reserva de C (Tabela 3) dentro dos agregados, podendo estar protegido da decomposição biológica (Rasse et al., 2005). As raízes envolvidas pelos agregados aumentam os estoques de COT no solo e/ou liberam compostos orgânicos que influenciam na atividade biológica e nas reações com partículas minerais agindo na estabilidade dos agregados (Six et al., 2004).

4.2. Relação das raízes com a atividade biológica e a estrutura do solo

Os maiores valores de carbono da biomassa microbiana (C-BMS) nos sistemas Pupunha e Floresta (Figura 5) podem ser relacionados com os maiores valores de DCr (Tabela 3) e deposição de material vegetal de espontâneas e serapilheira em superfície (Tabela 4). Essa adição de material orgânico proporciona condições favoráveis ao C-BMS pela oferta diversificada de substratos que abrange diferentes populações microbianas (Cardoso et al., 2009; Garbeva et al., 2008; Silva et al., 2010; Scharroba et al., 2012). Chama atenção que o conteúdo de lignina nas raízes da Floresta, que foi maior entre os sistemas (Tabela 4), não interferiu na atividade biológica. O teor de lignina na Floresta foi similar ao encontrado no trabalho de Monteiro & Gama-Rodrigues (2004), 400 mg g⁻¹ de lignina nas raízes, nas mesmas condições de vegetação e solo. Os dados mostram que a quantidade de matéria seca de raízes e de serapilheira (Tabela 4) foi mais determinante para a atividade biológica, até porque a relação C:N das raízes foi baixa (Tabela 3). A atividade microbiana transforma o material vegetal em C lábil e, quando eficientes, incorporam C dentro de suas células, representado, na Figura 5 D, pelo quociente microbiano (q_{Mic}). Portanto, um sistema radicular mais volumoso e denso como o dos sistemas Floresta e Pupunha (V_r e DCr na Tabela 3), refletiram em maior biomassa microbiana na profundidade 0 a 5 cm (Figura 5 A) e uma microbiota eficiente na conversão e retenção do carbono (Figura 5 C).

Esperava-se que os maiores atributos de raízes (Tabela 3) e de biomassa microbiana (Figura 5 A), como ocorreu no sistema Floresta, refletisse em estrutura de solo composta por maior proporção de macroagregados (Tabela 6). Porém, essa hipótese não foi confirmada nesse estudo. A Floresta apresentou os menores valores de diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu) à exceção da profundidade 15 a 30 cm. Esses resultados são explicados pela textura do solo com alta proporção de areia no sistema Floresta (Tabela 4, Figura 6), atribuída ao impacto da variação fluvial do rio e à deposição de sedimentos com granulometria arenosa (Tabela 5). Dessa forma, o sistema Floresta formou um grupo exclusivo na associação com as

variáveis dependentes da PCA, se associando aos atributos de raízes e areia, em todas as profundidades (Figura 6). Ainda que a densidade de raízes e a atividade biológica tenha sido alta neste sistema, não houve reflexo no DMPu, que teve menor agregação atribuída à textura arenosa (Figura 6). Suzuki et al. (2014) encontraram correlação da textura com o DMPu e afirmaram que a textura influencia no comportamento físico dos agregados.

O preparo do solo para manter a área sem plantas espontâneas, incorporando os resíduos vegetais das mesmas, aumenta a aeração do solo e diminui a presença de raízes, como aconteceu no sistema Milho (Figura 4 e Tabela 3) refletiu na maior respiração basal do solo ($C-CO_2$) (Figura 5 B). Essa situação resultou em estresse para a microbiota, pois houve perda de carbono pela biomassa microbiana, como demonstrado pelo menor C-BMS (Figura 5 A) e pelo maior quociente metabólico (qCO_2) (Figura 5 C) e, conseqüentemente, resultou no menor quociente microbiano ($qMic$) (Figura 5 D).

O Milho apresentou os menores atributos radiculares em relação aos demais (Tabela 3), o que justifica os baixos valores dos indicadores biológicos (Figura 5), em função do reduzido aporte de compostos orgânicos oriundos das raízes, que são utilizados como substrato pelos microrganismos e constituem agentes cimentantes dos agregados. O baixo Vr no Milho (Tabela 3) resultou em baixa exsudação e entrada de CO no solo, somado ao efeito do revolvimento, era esperado redução do DMPu nesse sistema. No entanto, os sistemas Milho e Pupunha não diferiram em relação ao DMPu, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm, o que pode estar relacionado tanto ao teor de areia e argila, diferente do sistema Floresta, quanto pela recente conversão das áreas em agricultura e que apresentam naturalmente boa estruturação (Tabela 6). Na Figura 6, os sistemas Milho e Pupunha apresentaram relações diretas, nas profundidades 0 a 5 e 5 a 15 cm, entre o DMPu, COT, NT e PST, indicando que essas variáveis podem estar influenciando na estrutura do solo desses sistemas.

O efeito do revolvimento do solo sobre o diâmetro dos agregados é condizente com estudos conduzidos em Latossolo pelos autores Rozane et al. (2010) e Portella et al. (2012) em diferentes sistemas de manejo. Rozane et al. (2010) em Latossolo de textura média encontraram para sistema convencional, no cultivo do milho, DMPus de 4,6; 4,7 e 3,7 mm nas profundidades 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm, valores superiores aos encontrados para o Milho neste presente estudo; e Portella et al. (2012), em Latossolo de textura argilosa, encontraram DMPus de 1,6, 1,5 e 1,7 mm nas profundidades 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente. Ambos os trabalhos atribuíram a redução do DMPu à diminuição do COT no solo, resultado

das operações de preparo que revolveram e promoveram a desestruturação e a perda do COT por oxidação. Contudo, no presente trabalho, os teores de COT não foram significativos (Tabela 6) e não apresentaram correlação com o DMPu.

Na profundidade de 15 a 30 cm, o sistema Milho apresentou maior DMPu diferenciando-se dos outros sistemas (Tabela 6). Os agregados maiores formados nessa profundidade nesse sistema devem ser oriundos de forças de compressão promovidas pelo uso de equipamentos agrícolas das roçadas constantes (Beutler et al., 2005; Lopes et al., 2011), uma vez que os fatores biológicos, como os atributos radiculares (Tabela 3) e os microbiológicos (Figura 5), que são agentes agregantes, estão menos presentes. O sistema Pupunha apresentou maior proporção de agregados na classe 8-2 mm ($73 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$) e maior DMPu (4,2 mm) comparados ao sistema Floresta na profundidade 0 a 5 cm ($52 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ e DMPu 2,6 mm) atribuídos ao menor teor de areia e maior teor de argila, o que favorece a estabilidade dos agregados (Figura 6). Exsudatos e subprodutos microbianos são considerados agentes cimentantes ligados à agregação (Tisdall & Oades, 1982; Haynes & Beare, 1997). Além disso, ocorre uma relação entre os atributos de raízes do sistema Pupunha (Tabela 3) com a proporção dos agregados na classe 8-2 mm (Tabela 5), C-BMS (Figura 5A) e concentração de polissacarídeos (Tabela 6) de forma que a ação das raízes pode ser considerada um agente de contribuição na formação e de estabilização dos macroagregados neste sistema.

A classe de microagregados, $< 0,25 \text{ mm}$, não foi significativa para nenhum dos sistemas nas profundidades avaliadas (Tabela 5), muito provavelmente devido a fortes ligações organo-mineral associadas à matéria orgânica do solo tornando-se mais estáveis (Watteau et al., 2012) e menos suscetíveis às práticas de manejo (Six et al., 2000).

4.3. Matéria seca e indicadores de fertilidade do solo

A quantidade de matéria seca de raízes (MSr) determinada foi baixa para Milho e Pupunha, se compararmos com outros trabalhos (Tabela 4). Bordin et al. (2008) encontraram $3,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de MSr no milho, em sistema convencional, valores muito superiores aos encontrados neste estudo. Todavia a amostragem no estudo de Bordin et al. (2008) foi a 5 cm da planta e na profundidade de 1 m, e neste estudo, se deu na entre linha da cultura a aproximadamente 60 cm da base da planta, na profundidade de 0 a 36 cm, e com espaçamento entre linhas de 170 cm. Qin et al. (2006) avaliaram o sistema radicular do milho, na linha e entrelinha, e encontraram maiores valores dos atributos de raízes na linha e

na camada superficial, o que também justifica os menores resultados encontrados no presente estudo.

Em relação à MSr do Pupunha, Chaimsohn et al. (2007) avaliando raízes de pupunha (*Bactris gasipaes* K.) com cerca de 21 meses de implantação, na entre linha, a 60 cm da planta, encontraram 1,38 g de MSr dm⁻³, superior ao encontrado neste estudo com 16 meses de cultivo (0,38 g dm⁻³). O manejo consorciado da pupunha com hortaliças e milho até os 12 meses de estabelecimento da palmeira pode ter influenciado negativamente no desenvolvimento e densidade de raízes.

Rosado et al. (2011) encontraram, em floresta ombrófila densa de terras baixas, MSr de 219 g m⁻² na profundidade 0 a 30 cm, neste estudo até a profundidade 0 a 36 cm foi encontrado 398 g m⁻².

A baixa quantidade de matéria seca de raízes no Milho resultou em relação raízes: parte aérea (R:PA) baixa (Tabela 6), quando comparada com dados de Bolinder et al. (2007) R:PA 0,16. Na Floresta, a R:PA está de acordo com resultados de Malhi et al. (2009) de 0,2 a 0,3 para florestas tropicais. É importante ressaltar que a redução da MSr e da R:PA no Milho e Pupunha estão relacionados a menor densidade de plantas e à metodologia de coleta na entrelinha que amostrou as raízes 60 cm longe da base da planta.

Apesar das diferenças nas quantidades de matéria seca da parte aérea e das raízes entre os sistemas, os dados de carbono orgânico total do solo (COT) não foram significativos (Tabela 6). A Floresta, na profundidade de 0 a 5 cm, apresentou 20 g COT kg⁻¹ solo e 2,24 g de NT kg⁻¹ de solo. Valores que corroboram com dados de Silva et al. (2012), que determinaram 21,3 g COT kg⁻¹ em áreas florestais, em Cambissolo Háplico, em condições semelhantes; e de Mendham et al. (2002), que encontraram 39 g COT kg⁻¹ solo e 1,73 g NT kg⁻¹ em solos com baixo teor de argila e baixo nível de fertilidade, sob plantações de eucalipto. Os teores de COT e NT no solo dependem da intensidade dos processos de adição de resíduos vegetais (Giannopoulos et al., 2010) e de perda por efluxo, devido à mobilização do solo acelerando a decomposição da MOS (Bayer et al., 2000).

O revolvimento constante do solo, como aconteceu no sistema Milho, promove perda de COT. Porém, os valores semelhantes entre os sistemas podem ser explicados por dois fatores. O primeiro, o COT no sistema Milho ainda representa o estoque de carbono do histórico de uso da área que era com fruteiras e plantas espontâneas na entrelinha. E, segundo, o COT do sistema Floresta está relacionado com a capacidade de interação organo-mineral

dos minerais constantes da fração areia, que é menor que a capacidade dos minerais constituintes da granulometria mais argilosa dos sistemas Milho e Pupunha (Tabela 5).

Os teores de nitrogênio total do solo (NT) acompanharam o comportamento do COT. Os dados não foram significativos entre os sistemas. A relação C:N do solo que chama atenção pelo baixo valor. Todos os sistemas apresentaram relação C:N dentro da faixa das células microbianas (Moreira & Malavolta, 2004). Essa condição favorece os processos biológicos do solo, como a ciclagem de elementos e também explica a ausência de diferenças nos teores de COT entre os sistemas.

Os indicadores de fertilidade apontam para uma condição melhor no sistema Pupunha com saturação do complexo de troca por bases (V) de 60%, teor alto de K^+ , P disponível e Mg^{+2} na maioria das profundidades (Tabela 5). Com melhor condição de fertilidade do solo, o desenvolvimento da microbiota pode ser favorecido (Lugato et al., 2006; Chu et al., 2007; Enwall et al., 2007).

O pH é um importante regulador do C-BMS (Anderson & Domsch, 1993). Em condições de acidez, como nos sistemas de uso estudados, o pH provoca condições de estresse para a maioria dos microrganismos aumentando a perda de carbono por respiração e diminuindo a eficiência da microbiota em fixar o C em biomassa (Wardle & Ghani, 1995; Scheer, 2008). Porém, parece que não houve comprometimento da atividade biológica nesse estudo. Os atributos C-BMS, C-CO₂ e pH se relacionaram diretamente (Figura 6), demonstrando não haver prejuízos à atividade biológica em virtude do baixo pH em todos os sistemas. Trabalho de Silva et al. (2012) em condições semelhantes determinaram C-BMS em floresta e lavoura anual em preparo convencional de 417 e 133 mg C kg⁻¹ solo, e respiração basal do solo de 3,12 e 0,86 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹, respectivamente, a 5 cm de profundidade, valores inferiores aos encontrados nesse estudo. Silva et al. (2007), em Latossolo Vermelho Distrófico, na profundidade 0 a 10 cm, em floresta e lavoura de milho, encontraram para C-BMS 966 e 325 mg C kg⁻¹ solo e respiração basal de 27,5 e 10,4 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹, respectivamente, valores similares a esse estudo.

O C-BMS é considerado o compartimento de reserva de C e nutrientes, especialmente o P (Tiecher et al., 2012). A disponibilização ocorre por meio da mineralização do P exportado pelas plantas e devolvido ao solo em formas lábeis e moderadamente lábeis (Tiecher et al., 2012; Noack et al., 2014). Foi obtida correlação significativa positiva e alta entre P disponível e polissacarídeos totais (PST) do solo, $r: 0,63$ ($p < 0,01$) [Apêndice 7],

indicando que os polissacarídeos de origem microbiana e/ou vegetal estão relacionados à concentração de P. A adição de resíduos tanto de raízes como da parte aérea e a retenção da umidade promovida pela cobertura do solo no Pupunha, além dos benefícios já comentados na agregação e no C-BMS, ainda favorecem o aporte de P nas camadas superficiais, e promovem a redistribuição e reposição dos nutrientes no perfil do solo (Noack et al., 2014). No sistema Milho, apesar dos elevados valores de P disponível, oriundos possivelmente de adubação mineral, pode haver maior adsorção do nutriente em função do aumento dos sítios de adsorção nas cargas dos minerais promovidos pelo revolvimento do solo (Vargas & Scholles, 2000).

Um fator inerente ao teor de K^+ trocável nos sistemas estudados é a relação com o material de origem do Cambissolo, com características de áreas jovens do relevo e com a presença dos minerais primários mica e feldspatos, que são fontes de K estrutural (Melo et al., 2009). No sistema Floresta, não houve alta concentração de K^+ trocável, devido aos processos de deposição de sedimentos fluviais com predomínio do mineral quartzo nos ciclos de cheias do rio.

O solo sob os sistema Floresta apresentou baixa fertilidade em todas as profundidades e para todos os nutrientes estudados. Sabe-se que a textura influencia na disponibilidade de nutrientes, devido à diminuição de cargas em relação ao solo com maior teor de argila e silte. Este fato confere ao C-BMS um papel fundamental na reserva de nutrientes na Floresta, atuando como fonte e dreno (Tiecher et al., 2012) pela transformação dos resíduos vegetais e fixação de C em biomassa (q_{Mic}) e liberação dos nutrientes na solução do solo. Esses nutrientes podem ser prontamente assimiláveis pelas raízes, evitando perda por lixiviação e refletindo no desenvolvimento das raízes, mesmo em condições de restrição de nutrientes. Ainda, em condições de restrições de P no solo, como na Floresta, é comum a associação de raízes a fungos micorrízicos que lançam redes de hifas e ampliam o volume do solo a ser explorado pelas raízes contribuindo com a absorção do P em formas menos lábeis (Li et al., 2008) e atuando na formação de agregados (Tisdall & Oades, 1982). Vale ressaltar que, em florestas tropicais, como é o caso desse estudo, a maior quantidade de nutrientes do sistema encontra-se estocado na matéria vegetal, tanto verde como a depositada sobre o solo.

5. CONCLUSÕES

O maior volume de raízes nos sistemas Floresta e Pupunha conferiram melhores condições para a biomassa microbiana e contribuiu para a estabilidade de agregados no sistema Pupunha. Na Floresta, o elevado teor de areia não favoreceu a formação de macroagregados, mesmo na presença de grande densidade de raízes e alta atividade biológica. Os sistemas de uso Pupunha e Floresta, que somaram maior volume de raízes e que proporcionaram maior adição de material orgânico ao solo refletiram em melhores condições biológicas. Em diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em Cambissolo Háplico no litoral do Paraná, os indicadores microbiológicos carbono da biomassa microbiana, quociente metabólico e quociente microbiano apresentaram relação com os atributos de raízes, especialmente com o volume radicular. Para a distribuição de agregados, essa relação não foi evidente.

6. LITERATURA CITADA

ALEF, K. Soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London: Academic Press Limited, 1995. p. 225-227.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22:711-728, 2013.

ANDERSON, J. P.E. & DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biology & Biochemistry, 10:215-221, 1978.

ANDERSON, T. H. & DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental-conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biology & Biochemistry, 25:393-395, 1993.

ARAÚJO, A. S. F. & MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. Bioscience Journal, 3:66-75, 2007.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeitos de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 24:599-607, 2000.

BEARE, M. H.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D. C. Water-stable aggregates and organic matter fraction in conventional and no tillage soils. Soil Science Society of America Journal, 58:777-786, 1994.

BERTOL, J. I. A.; ALBUQUERQUE, D. LEITE, A. J.; AMARAL, W. A.; ZOLDAN JUNIOR. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ANDRIOLI, I. Efeito da compactação do solo na estabilidade de agregados e no conteúdo gravimétrico de água. Acta Scientiarum Agronomy, 27:193-198, 2005.

BÖHM, W. Methods of studying root system. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.

BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; DUB, J. P. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, 63:61-66, 1997.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 43:1785-1792, 2008.

- BRONICK, C. J & LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.
- BURGER D. M. & DELITTI, W. B. C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern. *Biota Neotropica*, 4:131-136, 2008.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44:631-637, 2009.
- CHAIMSOHN, F. P.; VILLALOBOS, E.; URPI, J. M. O fertilizante orgânico aumenta a produção de raízes em plantas de pupunha (*Bactris gasipaes* K.). *Revista Agronomia Costarricense*, 31:57-64, 2007.
- CHU, H.; LIN, X.; FUJII, T.; MORIMOTO, S.; YAGI, K.; HU, J.; ZHANG, J. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology & Biochemistry*, 39:2971-2976, 2007.
- CLARK LABS - Idrisi. Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador, versão Selva 17.0. 2012.
- CLEMENT, C. R. & BOVI, M. L. A. Padronização de medidas de crescimento e produção em experimento com pupunheiras para palmito. *Acta Amazonica*, 30:349-362, 2000.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 2011. 225 p.
- ENWALL, K.; NYBERG, K.; BERTILSSON, S.; CEDERLUND, H.; STENSTRÖM, J.; HALLIN, S. Long-term impact of fertilization on activity and composition of bacterial communities and metabolic guilds in agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 39:106-115, 2007.
- FABIAN, A. J. & OTTONI FILHO, T. B. Determinação de capacidade de campo “in situ” ou através de equações de regressão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:1029-1036, 2000.
- FANTE JR, L. & REICHARDT, K. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: comparação de metodologias. *Scientia Agricola*, 51:513-518, 1994.
- FERREIRA, S. A. N.; CLEMENT, C. R.; RANZANI, G.; COSTA, S. S. Contribuição ao conhecimento do sistema radicular da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth, Palmae). II. Solo Latossolo Amarelo, textura argilosa. *Acta Amazonica*, 25:161-170, 1995.
- GARBEVA, P.; VAN ELSAS, J. D.; VAN VEEN, J. A. Rhizosphere microbial community and its response to plant species and soil history. *Plant and Soil*, 302:19-32, 2008.

- GIANNOPOULOS, G.; PULLEMAN, M. M.; GROENIGEN, J. W. V. Interactions between residue placement and earthworm ecological strategy affect aggregate turnover and N₂O dynamics in agricultural soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 42:618-625, 2010.
- GRISE, M. M.; BIONDI, D.; LINGNAU, C.; ARAKI, H. A estrutura da paisagem do mosaico formado pelas unidades de conservação presentes no litoral norte do Paraná. *Floresta*, 39:723-742, 2009.
- HAYNES, R. J. & BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology & Biochemistry*, 29:1647-1653, 1997.
- JENKINSON, D. S. & POWLSON, D. S. The effect of biocidal treatments on metabolism in soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 8:209-213, 1976.
- JORGE, L. A. C. & RODRIGUES, A. F. O. Safira: sistema de análise de fibras e raízes. Embrapa Instrumentação Agropecuária, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2008. 20 p.
- LI, H.; SMITH, F. A.; DICKSON, S.; HOLLOWAY, R. E.; SMITH, S. E. Blackwell Publishing Ltd Plant growth depressions in arbuscular mycorrhizal symbioses: not just caused by carbon drain? *New Phytologist*, 178:852–862, 2008.
- LOPES, A.S.; HERNANDEZ, F. B. T.; ALVES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, G. Q. Distribution of the root system of peach palm under drip irrigation. *Acta Scientiarum Agronomy*, 36:317-321, 2014.
- LOPES, E. S.; SAMPIETRO, J. A.; LOMBARDI, DIAS, A. N. Avaliação da umidade na compactação do solo submetido ao tráfego de máquinas de colheita florestal. *Revista Árvore*, 35:659-667, 2011.
- LOWE, L. E. Total and labile acid extractable polysaccharide analysis of soils. In: Carter, M.R. (Ed.), *Soil sampling and methods of analysis*. Boca Raton: Lewis, 1993, p. 373-376.
- LU, Y. H.; MURASE, J.; WATANABE, A.; SUGIMOTO, A.; KIMURA, M. Linking microbial community dynamics to rhizosphere carbon flow in a wetland rice soil. *Microbial Ecology*, 48:79-186, 2003.
- LUGATO, E.; BERTI, A.; GIARDINI, L. Soil organic carbon (SOC) dynamics with and without residue incorporation in relation to different nitrogen fertilisation rates. *Geoderma*, 135:315-321, 2006.
- MALHI, Y; ARAGÃO L. E. O. C.; METCALFE, D. B.; PAIVA, R.; CARLOS A. QUESADA, C. A.; ALMEIDA, S.; ANDERSON, L.; BRANDO, P.; CHAMBERS, J. Q.; COSTA, A. C. L.; HUTYRA, L. R.; OLIVEIRA, P.; PATIÑO, S.; PYLE, E. H.; ROBERTSON, A. L.; TEIXEIRA, L. M. Comprehensive assessment of the carbon productivity, allocation and storage in three Amazonian forests. *Global Change Biology*, 15:1255-1274, 2009.

- MARQUES, R. & MOTTA, A. C. V. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: LIMA, M. R. (Org.). Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2003. p. 81-102.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:425-433, 2003.
- MELLO IVO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:135-143, 1999.
- MELO, V. F.; CASTILHOS, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: Melo, V. F.; Alleoni, L. R. F. Química e mineralogia do solo. Parte I – conceitos básicos. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 251-332.
- MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:435-443, 2003.
- MENDHAM, D. S.; SANKARAN, K. V.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, A. T. S. Eucalyptus globulus harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. *Soil Biology & Biochemistry*, 34:1903-1912, 2002.
- MILLER, R. M. & JASTROW, J. D. Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biology & Biochemistry*, 22:579-584, 1990.
- MONTEIRO, M. T. & GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:819-826, 2004.
- MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. Procedimentos para análise lignocelulósica. Campina Grande, Embrapa Algodão, 2010. 54 p.
- MOREIRA, A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:1103-1110, 2004.
- NOACK, S. R.; MCBEATH, T. M.; MCLAUGHLIN, M. J.; SMERNIK, R. J.; ARMSTRONG, R. D. Management of crop residues affects the transfer of phosphorus to plant and soil pools: Results from a dual-labelling experiment. *Soil Biology & Biochemistry*, 71:31-39, 2014.

- PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1868-1877, 2012.
- POSTMA, J. A.; SCHURR, U.; FIORANI, F. Dynamic root growth and architecture responses to limiting nutrient availability: linking physiological models and experimentation. *Biotechnology Advances*, 32:53-65, 2014.
- POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology & Biochemistry*, 19:159-164, 1987.
- QIN, R. J.; STAMP, P.; RICHNER, W. Impact of tillage on maize rooting in a Cambisol and Luvisol in Switzerland. *Soil Tillage Research*. 85:50-61, 2006.
- RAMOS, A.; FOLEGATTI, M. V.; BOVI, M. L. A.; DIOTTO, A. V. Distribuição espacial do sistema radicular da pupunheira em função de lâminas de irrigação. *Irriga*, 14:431-440, 2009.
- RASSE, D. P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M. O. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant Soil*, 269:341-356, 2005.
- ROSADO, B. H. P.; MARTINS, A. C.; COLOMEU, T. C.; OLIVEIRA, R. S.; JOLY, C. A.; AIDAR, M. P. M. Fine root biomass and root length density in a lowland and a montane tropical rain forest. *Biota Neotropica*, 3:203-209, 2011.
- ROSCOE, R. & BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil Tillage Research*, 70:107-119, 2003.
- ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. *Bioscience Journal*, 26:24-32, 2010.
- SANTOS H.G.; JACOMINE, P. K.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.*
- SCHARROBA, A.; DIBBERN, D.; HÜNNINGHAUS. M.; KRAMER, S.; MOLL, J.; BUTENSCHOEN, O.; BONKOWSKI, M.; BUSCOT, F.; KANDELER, E.; KOLLER, R.; KRÜGER, D.; LUEDERS, T.; SCHEU, S.; RUESS, L. E. Effects of resource availability and quality on the structure of the micro-food web of an arable soil across depth. *Soil Biology & Biochemistry*, 50:1-11, 2012.
- SCHEER, M. B. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). *Revista Floresta*, 38:253-267, 2008.

- SIDDIKY, R. K.; SCHALLER, J.; CARUSO, T.; RILLIG M. C. Arbuscular mycorrhizal fungi and collembola non-additively increase soil aggregation. *Soil Biology & Biochemistry*, 47:93-99, 2012.
- SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L.; FEITORA, J. C. F.; LOSS, A.; MENEZES, C. E. G.; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1680-1689, 2012.
- SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:1755-1761, 2007.
- SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1585 a 1592, 2010.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Research*, 79:7-31, 2004.
- SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry*, 32:2099-2103, 2000.
- SUZUKI, L. E. A. S.; LIMA, C. L. R.; REINERT, D.; REICHERT, J. M.; PILLON, C. N. Estrutura e armazenamento de água em um argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:94-106, 2014.
- TIECHER, T.; SANTOS, D. R.; CALEGARI, A. Soil organic phosphorus forms under different soil management systems and winter crops, in a long term experiment. *Soil Tillage Research*, 124:57-67, 2012.
- TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science*, 33:141-163, 1982.
- VARGAS, L. K. & SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24: 35-42, 2000.
- VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:213-223, 2011.

WARDLE, D. A. & GHANI, A. A. critique of the microbial metabolic quotient ($q\text{-CO}_2$) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biology & Biochemistry*, 27:1601-1610, 1995.

WATTEAU, F.; VILLEMIN, G.; BARTOLI, F.; SCHWARTZ, C.; MOREL, J.L. 0-20 μm aggregate typology based on the nature of aggregative organic materials in a cultivated silty topsoil. *Soil Biology & Biochemistry*, 46:103-114, 2012.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40:487-494, 2005.

WIESMEIER, M.; STEFFENS, M.; MUELLER, C. W.; OLBL, A. K.; RESZKOWSKA, A.; PETH, S.; HORN, R.; KOGEL-KNABNER, I. Aggregate stability and physical protection of soil organic carbon in semi-arid steppe soils. *European Journal of Soil Biology*, 63:22-31, 2012.

7. APÊNDICES

Apêndice 1. Análise de variância para os valores médios dos atributos de raízes: densidade de comprimento de raízes (DCr), volume de raízes (Vr), área de raízes (Ar), relação carbono:nitrogênio de raízes (C:Nr), carbono orgânico de raízes (COr), nitrogênio de raízes (Nr), diâmetros de raízes: < 0,5 mm; 2 < Ø < 5 mm, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 36 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.

DCr	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	12,625	6,312	8,001 *
	Resíduo	9	7,100	0,788	
5-15 cm	Tratamento	2	1,778	0,889	3,632 ns
	Resíduo	9	2,202	0,244	
15-36 cm	Tratamento	2	1,576	0,788	13,982 **
	Resíduo	9	0,507	0,056	

Vr	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	189,880	594,940	44,154 **
	Resíduo	9	52459749,48	5828861,05	
5-15 cm	Tratamento	2	323,163	161,580	7,534 *
	Resíduo	9	48087476,32	53430529,03	
15-36 cm	Tratamento	2	208.687.188,200	104,343591,03	15,156 **
	Resíduo	9	19.585.798,860	68.842.866,540	

Ar	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	79294694,64	39647347,322	23,490 **
	Resíduo	9	1519002639,15	168778070,350	
5-15 cm	Tratamento	2	75942883,01	37971441,506	6,694 *
	Resíduo	9	510460856,93	567178729,430	
15-36 cm	Tratamento	2	134,48	67,239	16,753 **
	Resíduo	9	36,12	4,013	

C:Nr	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	583,871	291,935	32,766 **
	Resíduo	9	80,185	8,909	
5-15 cm	Tratamento	2	494,169	247,084	6,033 *
	Resíduo	9	368,580	40,954	
15-36 cm	Tratamento	2	961,949	480,999	10,779 **
	Resíduo	9	401,587	94,620	

CO _r	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	3728,008	1864,004	26,296 **
	Resíduo	9	637,950	70,883	
5-15 cm	Tratamento	2	3129,650	1564,825	15,194 **
	Resíduo	9	926,880	102,980	
15-36 cm	Tratamento	2	1576,977	788,488	3,469 ns
	Resíduo	9	2045,620	227,290	

Nr	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	245,600	122,800	31,871 **
	Resíduo	9	34,676	3,852	
5-15 cm	Tratamento	2	167,094	83,547	11,381 **
	Resíduo	9	66,064	7,340	
15-36 cm	Tratamento	2	225,516	112,758	19,364 **
	Resíduo	9	52,407	5,823	

< 0,5 mm	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	1315800,166	657900,083	3,657 ns
	Resíduo	9	1618760,750	17,9862,30	
5-15 cm	Tratamento	2	494,540	247,270	4,158 ns
	Resíduo	9	5.351,770	59,464	
15-36 cm	Tratamento	2	87040,500	43520,250	2,507 ns
	Resíduo	9	15620517,500	17356,190	

0,5 > 0 < 2 mm	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	171,970	85,987	36,997 **
	Resíduo	9	20,917	2,324	
5-15 cm	Tratamento	2	20516,666	10258,333	14,065 **
	Resíduo	9	6564,000	729,330	
15-36 cm	Tratamento	2	235,382	117,691	10,615 **
	Resíduo	9	99,778	11,086	

Apêndice 2. Análise de variância para os valores médios dos atributos do solo: diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu), distribuição de agregados em classes de diâmetro: 8-2 mm, 2-0,25 mm, 0,25-0,053 mm, <0,053 mm, argila e silte nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.

DMPu	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	4,621	2,314	11,690 **
	Resíduo	9	1,780	0,197	
5-15 cm	Tratamento	2	0,938	0,469	6,125 *
	Resíduo	9	0,689	0,076	
15-30 cm	Tratamento	2	3,763	1,881	9,586 **
	Resíduo	9	1,766	0,196	

8-2 mm	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	986,640	493,320	6,053 *
	Resíduo	9	733,460	81,494	
5-15 cm	Tratamento	2	102,080	51,040	1,312 ns
	Resíduo	9	349,929	38,881	
15-30 cm	Tratamento	2	1183,677	591,833	8,706 **
	Resíduo	9	146,29	16,25	
2-0,25 mm	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	802,22	401,11	8,807 **
	Resíduo	9	410,13	45,57	
5-15 cm	Tratamento	2	310,98	155,49	4,840 *
	Resíduo	9	292,63	32,51	
15-30 cm	Tratamento	2	644,90	322,45	10,023 **
	Resíduo	9	298,52	32,17	
0,25-0,053 mm	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	0,241	0,120	0,087 ns
	Resíduo	9	12,490	1,387	
5-15 cm	Tratamento	2	14,90	7,45	3,165 ns
	Resíduo	9	20,38	2,26	
15-30 cm	Tratamento	2	24,72	12,36	1,432 ns
	Resíduo	9	77,80	8,65	
< 0,053 mm	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	3,590	1,790	1,390 ns
	Resíduo	9	11,620	1,291	
5-15 cm	Tratamento	2	1,38	0,69	3,454 ns
	Resíduo	9	1,80	0,20	
15-30 cm	Tratamento	2	20,133	10,07	5,931 *
	Resíduo	9	15,27	1,70	
Argila	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	194765,625	97382,812	120,62 **
	Resíduo	9	7265,280	807,290	
5-15 cm	Tratamento	2	183229,166	91614,583	68,532 **
	Resíduo	9	12031,280	1336,800	
15-30 cm	Tratamento	2	176119,791	88059,893	43,820 **
	Resíduo	9	18085,930	2009,540	

Silte	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	25729,160	12,864,58	9,626 **
	Resíduo	9	12500,000	1388,880	
5-15 cm	Tratamento	2	23229,160	11614,580	12,163 **
	Resíduo	9	8593,750	954,860	
15-30 cm	Tratamento	2	22812,500	11406,250	4,409 *
	Resíduo	9	23281,25	2586,8	

Apêndice 3. Análise não paramétrica pelo teste de Friedman a 5% para os valores médios dos atributos granulométricos: areia total, areia grossa, areia fina, nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.

	Profundidade cm	Sistema	Média	Soma dos Postos
Areia Total	0-5 cm	Milho	46,875	6,500
		Pupunha	43,750	5,500
		Floresta	403,125	12,000
	5-15 cm	Milho	50,000	6,500
		Pupunha	43,750	5,500
		Floresta	393,750	12,000
	15-30 cm	Milho	50,000	7,000
		Pupunha	43,7500	5,000
		Floresta	412,500	12,000
Profundidade cm	F-crit	T2	P	DMS
0-5	10,924	13,363	0,006	3,317
5-15	10,924	13,36	0,006	3,317
15-30	10,924	39	<0,001	2

	Profundidade cm	Sistema	Média	Soma dos Postos
Areia Grossa	0-5 cm	Milho	3,843	5,000
		Pupunha	5,364	7,000
		Floresta	68,401	12,000
	5-15 cm	Milho	4,299	5,000
		Pupunha	6,358	7,500
		Floresta	63,102	12,000
	15-30 cm	Milho	7,164	6,000
		Pupunha	6,070	6,000
		Floresta	83,892	12,000
Profundidade cm	F-crit	T2	P	DMS
0-5	10,924	13	0,006	3,465
5-15	10,924	13	0,006	3,465
15-30	5,143	9	0,015	4,001

	Profundidade cm	Sistema	Média	Soma dos Postos
Areia Fina	0-5 cm	Milho	43,031	6
		Pupunha	38,385	6
		Floresta	334,723	12
	5-15 cm	Milho	45,700	7
		Pupunha	37,391	5
		Floresta	330,647	12
	15-30 cm	Milho	42,835	7
		Pupunha	37,679	5
		Floresta	328,607	12
Profundidade cm	F-crit	T2	P	DMS
0-5	5,143	9	0,015	4,001
5-15	10,924	13	0,006	3,465
15-30	10,921	13	0,006	3,465

Apêndice 4. Análise de variância para os valores médios dos atributos químicos: carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total do solo (NT), relação carbono:nitrogênio do solo (C:Ns), polissacarídeos totais do solo (PST) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. * significativo a 5%; ns: não significativo.

COT	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	45,347	22,673	1,649 ns
	Resíduo	9	123,701	13,744	
5-15 cm	Tratamento	2	34,472	17,236	1,663 ns
	Resíduo	9	93,260	10,362	
15-30 cm	Tratamento	2	24,105	12,052	2,625 ns
	Resíduo	9	41,321	4,591	

NT	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	0,278	0,139	0,878 ns
	Resíduo	9	1,427	0,158	
5-15 cm	Tratamento	2	0,086	0,043	0,423 ns
	Resíduo	9	0,921	0,102	
15-30 cm	Tratamento	2	0,293	0,146	3,345 ns
	Resíduo	9	0,394	0,043	

C:Ns	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	4,545	2,272	14,737 **
	Resíduo	9	1,387	0,154	
5-15 cm	Tratamento	2	2,799	1,399	6,535 *
	Resíduo	9	1,927	0,214	
15-30 cm	Tratamento	2	0,189	0,094	0,355 ns
	Resíduo	9	2,396	0,266	

PST	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	92,921	46,460	3,770 ns
	Resíduo	9	110,904	12,322	
5-15 cm	Tratamento	2	26,837	13,418	0,525 ns
	Resíduo	9	230,013	25,557	
15-30 cm	Tratamento	2	0,936	0,468	0,057 ns
	Resíduo	9	73,089	8,121	

Apêndice 5. Análise de variância para os valores médios dos atributos da fertilidade do solo: fósforo disponível (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), pH, acidez potencial (AL+H), alumínio (Al), CTC pH 7 (T), soma de bases (SB), saturação de bases (V%), nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.

P disponível	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	1.310,8860	655,443	10,805 **
	Resíduo	9	545,940	60,660	
5-15 cm	Tratamento	2	921,511	460,755	7,197 *
	Resíduo	9	576,177	64,019	
15-30 cm	Tratamento	2	0,257	0,128	0,137 ns
	Resíduo	9	8,444	0,938	
K ⁺	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	109,151	54,575	11,099 **
	Resíduo	9	44,251	4,916	
5-15 cm	Tratamento	2	63,346	31,673	5,025 *
	Resíduo	9	56,727	6,303	
15-30 cm	Tratamento	2	0,022	0,011	5,606 *
	Resíduo	9	0,017	0,001	
Ca ⁺²	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	5,080	2,540	1,873 ns
	Resíduo	9	12,162	1,351	
5-15 cm	Tratamento	2	14,421	7,210	3,680 ns
	Resíduo	9	17,632	1,959	
15-30 cm	Tratamento	2	0,999	0,499	1,587 ns
	Resíduo	9	2,833	0,314	
Mg ⁺²	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	2,354	1,177	8,006 *
	Resíduo	9	1,323	0,147	
5-15 cm	Tratamento	2	4,046	2,023	20,602 **
	Resíduo	9	0,883	0,098	
15-30 cm	Tratamento	2	3,179	1,589	7,767 *
	Resíduo	9	1,841	0,204	
pH em CaCl ₂	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	1,380	0,690	5,053 *
	Resíduo	9	1,229	0,136	
5-15 cm	Tratamento	2	1,179	0,589	1,661 ns
	Resíduo	9	3,194	0,354	
15-30 cm	Tratamento	2	2,008	1,004	4,844 *
	Resíduo	9	1,865	0,207	

Al+H	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	0,8060	0,403	2,768 ns
	Resíduo	9	1,310	0,145	
5-15 cm	Tratamento	2	1,354	0,677	3,798 ns
	Resíduo	9	1,604	0,178	
15-30 cm	Tratamento	2	0,616	0,308	1,998 ns
	Resíduo	9	1,388	0,154	

Al ⁺³	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	0,005	0,002	2,462 ns
	Resíduo	9	0,009	0,001	
5-15 cm	Tratamento	2	9,155	4,577	3,352 ns
	Resíduo	9	12,287	1,365	
15-30 cm	Tratamento	2	11,555	5,777	1,840 ns
	Resíduo	9	28,247	3,138	

T	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	1,497	0,748	0,342 ns
	Resíduo	9	19,650	2,183	
5-15 cm	Tratamento	2	1,446	0,723	0,502 ns
	Resíduo	9	12,960	1,440	
15-30 cm	Tratamento	2	4,465	2,232	0,905 ns
	Resíduo	9	22,202	2,466	

SB	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	16,266	8,133	3,271 ns
	Resíduo	9	22,374	2,486	
5-15 cm	Tratamento	2	35,987	17,993	6,095 *
	Resíduo	9	26,567	2,951	
15-30 cm	Tratamento	2	29,373	14,686	2,003 ns
	Resíduo	9	65,991	7,332	

V%	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	1.283,1470	641,573	7,748 *
	Resíduo	9	745,189	82,798	
5-15 cm	Tratamento	2	1484,206	742,103	7,417 *
	Resíduo	9	900,483	100,053	
15-30 cm	Tratamento	2	1215,283	607,641	1,935 ns
	Resíduo	9	2825,640	313,960	

Apêndice 6. Análise de variância para os valores médios dos atributos biológicos: carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂), quociente microbiano (qMic) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%; * significativo a 5%; ns: não significativo.

C-BMS	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	599693,88	299846,94	11,164 **
	Resíduo	9	241706,87	26856,31	
5-15 cm	Tratamento	2	85003,616	42501,8	1,675 ns
	Resíduo	9	230725,33	25636,14	
15-30 cm	Tratamento	2	24844,95	12422,47	3,278 ns
	Resíduo	9	34104,22	3789,35	

C-CO ₂	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	159,340	79,672	4,260 *
	Resíduo	9	168,295	18,699	
5-15 cm	Tratamento	2	3,490	1,745	3,527 ns
	Resíduo	9	4,470	0,494	
15-30 cm	Tratamento	2	33,684	16,842	3,564 ns
	Resíduo	9	42,519	4,724	

qCO ₂	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	0,00081	0,0004	11,052 **
	Resíduo	9	0,0003	0,00004	
5-15 cm	Tratamento	2	0,001	0,0005	5,445 *
	Resíduo	9	0,00083	0,00009	
15-30 cm	Tratamento	2	0,003	0,0015	1,954 ns
	Resíduo	9	0,007	0,0007	

qMic	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	20,95600	10,47800	18,666 **
	Resíduo	9	5,05200	0,56100	
5-15 cm	Tratamento	2	5,56100	2,7800	4,065 ns
	Resíduo	9	6,15500	0,6830	
15-30 cm	Tratamento	2	1,08600	0,5430	1,849 *
	Resíduo	9	2,64200	0,2930	

Apêndice 7. Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis biológicas, químicas, físicas e atributos de raízes. *** significativo a 1 %, ** significativo a 5 % e * significativo a 10 %.

Fonte de variação	C-BMS	C-CO ₂	q Mic	DMPu	PST	COT	NT	P	Ca	K	Mg	pH	C:Ns	Cr	Vr	Ar	MSr	DCr	Nr	COr	Argila	Silte	Areia
q Co ₂	-0,61*** 6,73E-05	-0,02 0,9	0,11 0,505	-0,243 0,153	-0,0435 0,801	-0,121 0,482	-0,206 0,227	-0,16 0,35	-0,215 0,207	-0,0413 0,811	-0,084 0,626	-0,14 0,415	-0,43*** 0,00777	0,35** 0,0355	0,31* 0,0649	0,35** 0,0355	0,195 0,254	0,51*** 0,00132	0,53*** 0,0009	-0,39** 0,0188	-0,211 0,218	-0,304* 0,0753	0,174 0,318
C-BMS	----	0,73*** 2,8E-07	-0,46*** 0,00462	0,164 0,34	0,0283 0,87	0,42** 0,01	0,44*** 0,00696	0,204 0,232	0,44*** 0,00624	0,0462 0,789	0,0385 0,824	0,375** 0,0244	0,143 0,404	-0,54*** 0,00069	-0,50*** 0,00172	-0,54*** 0,00069	-0,49*** 0,00194	-0,227 0,183	-0,195 0,254	0,196 0,252	0,47*** 0,00312	0,62*** 4,5E-05	-0,58*** 0,00016
C-CO ₂	----	----	-0,42** 0,0101	-0,157 0,362	-0,00058 0,997	0,557*** 0,00042	0,47*** 0,00369	0,144 0,403	0,42** 0,0101	0,185 0,279	0,0991 0,565	0,459*** 0,0049	0,0193 0,911	-0,47*** 0,00331	-0,45*** 0,00573	-0,47*** 0,00331	-0,46*** 0,00408	-0,128 0,458	-0,0665 0,7	0,211 0,217	0,52*** 0,00096	0,59*** 0,00019	-0,58*** 0,00026
q Mic	----	----	----	0,123 0,475	0,149 0,385	0,00574 0,974	0,0447 0,796	0,0809 0,639	-0,0578 0,738	0,143 0,406	0,236 0,166	0,0465 0,788	0,173 0,313	0,209 0,22	0,178 0,298	0,209 0,22	0,205 0,23	-0,139 0,418	-0,188 0,271	0,164 0,339	-0,134 0,438	-0,351** 0,0361	0,189 0,269
DMPu	----	----	----	----	0,176 0,305	0,154 0,369	0,273 0,108	0,322* 0,0556	0,169 0,324	0,0536 0,756	0,114 0,508	-0,0143 0,934	0,0652 0,705	-0,164 0,341	-0,246 0,149	-0,164 0,341	-0,302* 0,0739	0,0706 0,682	0,028 0,871	-0,162 0,345	0,047 0,786	0,136 0,435	-0,0949 0,587
PST	----	----	----	----	----	0,41** 0,0123	0,40** 0,0154	0,63*** 3,2E-05	0,0034 0,984	0,215 0,208	0,0492 0,776	-0,0979 0,57	0,34** 0,0422	-0,206 0,227	-0,221 0,194	-0,206 0,227	-0,108 0,532	-0,177 0,301	-0,21 0,219	0,0585 0,735	-0,0853 0,621	0,308* 0,0674	-0,341** 0,0419
COT	----	----	----	----	----	----	0,95*** 4,3E-19	0,48*** 0,00279	0,45*** 0,00541	0,53*** 0,00083	0,202 0,238	0,393** 0,0177	0,291* 0,0856	-0,60*** 0,0001	-0,63*** 4E-05	-0,60*** 0,0001	-0,51*** 0,00137	-0,304* 0,0719	-0,293* 0,0829	0,291* 0,0847	0,292* 0,0844	0,65*** 1,9E-05	-0,65*** 1,9E-05
NT	----	----	----	----	----	----	----	0,455*** 0,00533	0,381** 0,0217	0,52*** 0,00114	0,129 0,453	0,42** 0,0108	0,244 0,151	-0,56*** 0,00032	-0,58*** 0,00019	-0,56*** 0,00032	-0,472*** 0,0037	-0,269 0,113	-0,27 0,112	0,226 0,186	0,62*** 5,6E-05	0,58*** 0,00021	-0,634*** 0,00012
P	----	----	----	----	----	----	----	----	0,147 0,391	0,365** 0,0287	0,235 0,167	0,312* 0,064	0,259 0,127	-0,402** 0,0152	-0,415** 0,0117	-0,402** 0,0152	-0,354** 0,0341	-0,138 0,423	-0,172 0,317	0,0416 0,81	0,58*** 0,0002	0,3* 0,0758	-0,49*** 0,00211
Ca	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,273 0,107	0,61*** 7E-05	0,288* 0,0882	0,145 0,397	-0,299* 0,0763	-0,282* 0,0955	-0,299* 0,0763	-0,306* 0,0691	-0,227 0,182	-0,203 0,236	0,251 0,141	0,51*** 0,00129	0,43*** 0,00918	-0,42** 0,0106
K	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,49*** 0,00246	0,44*** 0,00737	-0,0125 0,942	-0,363** 0,0295	-0,328* 0,051	-0,363** 0,0295	-0,279* 0,0999	-0,157 0,361	-0,168 0,328	0,163 0,343	0,415** 0,0118	0,227 0,182	-0,52*** 0,00119

Fonte de variação	C-BMS	C-CO ₂	q Mic	DMPu	PST	CO	NT	P	Ca	K	Mg	pH	C:Ns	Cr	Vr	Ar	MSr	DCr	Nr	COr	Argila	Silte	Areia
Mg	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,418** 0,0113	0,0931 0,589	-0,132 0,444	-0,0879 0,61	-0,132 0,444	-0,165 0,336	-0,305* 0,0706	-0,311* 0,0652	0,33** 0,0492	0,55*** 0,0005	0,104 0,55	-0,39** 0,0203
pH	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,0252 0,884	-0,338** 0,0438	-0,288* 0,0882	-0,338** 0,0438	-0,273 0,107	-0,203 0,235	-0,186 0,277	0,264 0,12	0,52*** 0,0011	0,236 0,166	-0,51*** 0,00154
C:Ns	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,135 0,431	-0,231 0,176	-0,135 0,431	0,085 0,622	-0,86*** 1,9E-11	-0,871*** 4,7E-12	0,775*** 2,9E-08	0,548*** 0,00054	-0,192 0,261	0,302* 0,078
Cr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,962*** 7,9E-21	1 0	0,84*** 1E-10	0,239 0,159	0,222 0,192	-0,236 0,167	0,0437 0,8	-0,652*** 1,6E-05	0,77*** 2,9E-08
Vr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,96*** 7,9E-21	0,83*** 3,8E-10	0,265 0,119	0,252 0,138	-0,251 0,14	-0,72*** 4,6E-07	-0,67*** 0,00012	0,69*** 2,7E-06	
Ar	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,844*** 1E-10	0,239 0,159	0,222 0,192	-0,236 0,167	-0,62*** 4,3E-05	-0,71*** 1,6E-05	0,77*** 2,9E-08	
MSr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,0567 0,743	-0,0774 0,653	0,0297 0,863	-0,72*** 7,3E-07	-0,701*** 1,9E-06	0,74*** 3E-06
DCr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,995*** 2,1E-35	-0,96*** 1,9E-20	-0,64*** 2,1E-05	-0,55*** 0,00057	0,58*** 0,00024
Nr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,939*** 2,4E-17	-0,263 0,121	0,173 0,314	-0,0916 0,601
COr	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,248 0,144	0,0364 0,836	-0,0859 0,624
Argila	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	0,272 0,109	0,68*** 4,9E-06	-0,97*** 8,9E-22
Silte	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-0,87*** 1,8E-10

Apêndice 8. Diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu); distribuição de agregados em classe de diâmetro; porcentagem de colonização de fungos micorrízicos arbusculares (% FMA); polissacarídeos totais (PST) e respiração basal (C-CO₂) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.

Sistema	U.A ⁽¹⁾	Prof. cm	Rep. ⁽²⁾	DMPu	Agregados						FMA %	PST g kg ⁻¹	C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹
					8-4	4-2	2-1	1-0,25	0,25-0,053	< 0,053			
					mm								
Milho	1	0-5	A	3,66	44,76	22,62	13,74	13,77	2,73	2,39	100	58,31	17,76
Milho	1	0-5	B	3,66	46,81	18,10	13,86	15,36	2,61	3,27	100	52,31	16,45
Milho	1	5-15	A	3,66	44,36	24,12	12,61	13,79	2,33	2,78	20	52,54	18,67
Milho	1	5-15	B	3,48	41,09	22,64	15,42	16,73	2,28	1,84	70	61,13	20,57
Milho	1	15-30	A	4,07	56,79	13,79	9,48	15,66	2,55	1,74	100	39,84	7,27
Milho	1	15-30	B	3,56	48,02	13,45	12,68	11,60	9,92	4,33	100	38,07	9,20
Milho	2	0-5	A	3,08	34,54	18,67	20,88	20,65	2,58	2,68	90	39,60	14,79
Milho	2	0-5	B	2,60	26,64	19,20	16,10	27,15	6,59	4,32	100	33,84	13,48
Milho	2	5-15	A	3,20	38,99	15,23	16,60	23,72	3,90	1,55	100	36,78	12,31
Milho	2	5-15	B	2,87	31,33	17,92	18,94	24,99	4,72	2,10	100	31,84	14,11
Milho	2	15-30	A	3,54	44,72	17,07	14,77	19,32	2,87	1,25	100	28,66	11,62
Milho	2	15-30	B	3,54	45,09	14,50	18,53	18,27	2,44	1,18	90	29,84	8,15
Milho	3	0-5	A	3,60	46,19	16,46	14,05	18,73	3,08	1,50	100	52,19	19,49
Milho	3	0-5	B	3,49	40,05	25,70	14,04	15,54	2,65	2,02	90	57,13	24,53
Milho	3	5-15	A	3,05	33,53	19,77	21,12	19,23	4,30	2,05	100	53,13	19,76
Milho	3	5-15	B	3,72	46,24	20,39	16,06	14,04	2,09	1,19	100	52,89	19,75
Milho	3	15-30	A	3,71	46,33	20,08	15,76	14,58	2,31	0,95	100	34,42	10,90
Milho	3	15-30	B	4,21	58,98	13,69	12,28	12,23	1,79	1,03	100	34,19	11,78
Milho	4	0-5	A	3,85	53,74	12,09	9,36	18,75	4,23	1,83	100	46,31	18,20
Milho	4	0-5	B	2,87	32,22	16,95	17,60	25,68	5,24	2,32	100	57,25	22,35
Milho	4	5-15	A	2,83	31,00	16,66	20,43	24,46	4,60	2,85	90	38,78	12,83
Milho	4	5-15	B	2,77	27,60	22,10	19,68	24,53	3,20	2,90	90	39,13	14,12
Milho	4	15-30	A	4,30	60,71	14,42	10,06	11,83	1,80	1,19	90	30,78	9,06
Milho	4	15-30	B	4,21	58,19	16,00	11,22	11,23	1,29	2,06	90	37,25	11,28

⁽¹⁾ U.A: Unidade Amostral.

⁽²⁾ Rep.: Repetição

(Continuação)

Sistema	U.A ⁽¹⁾	Prof. cm	Rep. ⁽²⁾	DMPu	Agregados						FMA %	PST g kg ⁻¹	C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹
					8-4	4-2	2-1	1-0,25	0,25-0,053	< 0,053			
Pupunha	1	0-5	A	4,17	59,54	14,22	5,40	12,95	4,52	3,37	80	38,31	21,01
Pupunha	1	0-5	B	4,47	66,19	12,38	3,97	9,82	4,36	3,27	90	44,54	22,26
Pupunha	1	5-15	A	3,58	49,31	13,13	6,21	19,75	8,67	2,94	80	35,36	15,68
Pupunha	1	5-15	B	3,95	54,96	15,61	6,02	13,36	6,58	3,48	90	40,54	18,07
Pupunha	1	15-30	A	2,61	28,05	14,96	19,35	28,90	5,58	3,17	40	27,25	13,29
Pupunha	1	15-30	B	2,70	28,46	19,65	13,62	29,49	5,55	3,22	50	23,95	12,73
Pupunha	2	0-5	A	4,32	60,28	17,43	7,19	10,37	3,10	1,63	90	39,36	20,05
Pupunha	2	0-5	B	4,66	70,26	11,25	2,41	10,22	3,09	2,75	90	46,19	22,68
Pupunha	2	5-15	A	3,04	37,31	15,05	11,41	26,13	7,02	3,09	90	34,31	18,13
Pupunha	2	5-15	B	3,89	50,74	21,11	7,89	13,90	4,14	2,22	100	34,19	18,40
Pupunha	2	15-30	A	1,75	14,92	12,81	14,41	37,88	10,77	9,21	100	29,72	13,65
Pupunha	2	15-30	B	1,70	13,25	15,18	11,50	41,14	13,87	5,06	90	34,42	15,30
Pupunha	3	0-5	A	4,50	65,33	13,79	6,91	8,93	2,74	2,30	80	48,89	21,37
Pupunha	3	0-5	B	4,22	58,47	16,20	10,22	10,10	3,27	1,74	90	41,84	17,99
Pupunha	3	5-15	A	3,29	43,15	14,95	10,95	11,72	5,53	17,21	100	38,66	12,26
Pupunha	3	5-15	B	3,72	52,21	11,36	7,35	20,23	7,00	5,35	100	40,42	11,31
Pupunha	3	15-30	A	2,67	26,84	19,22	20,51	26,35	3,97	3,10	70	44,31	11,44
Pupunha	3	15-30	B	2,83	32,16	15,83	15,15	30,07	3,69	3,11	80	40,19	12,98
Pupunha	4	0-5	A	3,33	40,42	20,05	10,90	20,22	5,35	3,06	70	49,84	25,46
Pupunha	4	0-5	B	3,64	50,27	11,57	9,70	19,84	5,29	3,33	80	33,72	26,61
Pupunha	4	5-15	A	3,50	45,74	14,25	13,74	19,09	3,48	3,71	90	46,89	16,11
Pupunha	4	5-15	B	3,23	39,61	17,41	12,81	21,37	5,71	3,09	90	39,72	15,44
Pupunha	4	15-30	A	3,01	34,11	18,71	17,38	21,06	5,39	3,34	90	37,48	8,82
Pupunha	4	15-30	B	3,04	35,32	18,92	13,92	22,11	4,27	5,46	70	41,60	8,57

⁽¹⁾ U.A: Unidade Amostral.

⁽²⁾ Rep.: Repetição

(Continuação)

Sistema	U.A. ⁽¹⁾	Prof. cm	Rep. ⁽²⁾	DMPu	Agregados						FMA %	PST g kg ⁻¹	C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹
					8-4	4-2	2-1	1-0,25	0,25-0,053	< 0,053			
Floresta	1	0-5	A	1,94	12,89	23,48	18,50	26,34	13,48	5,31	30	28,89	29,13
Floresta	1	0-5	B	1,93	9,50	29,94	19,28	25,38	9,22	6,67	40	25,60	24,18
Floresta	1	5-15	A	2,73	22,48	33,56	16,42	18,50	5,80	3,25	20	33,48	25,99
Floresta	1	5-15	B	2,65	23,81	26,76	18,86	20,42	8,02	2,12	20	27,01	25,26
Floresta	1	15-30	A	2,60	22,77	27,58	17,47	19,66	10,76	1,76	30	32,89	13,59
Floresta	1	15-30	B	3,06	31,85	27,57	13,07	19,05	5,83	2,62	40	31,60	14,21
Floresta	2	0-5	A	2,92	28,05	26,92	19,94	19,40	3,68	2,00	60	31,36	27,17
Floresta	2	0-5	B	3,06	28,35	32,60	18,31	16,02	2,28	2,45	70	35,25	26,10
Floresta	2	5-15	A	2,56	21,80	25,54	21,59	23,97	5,03	2,07	10	57,95	45,87
Floresta	2	5-15	B	2,79	24,37	30,18	19,77	20,06	2,62	3,00	30	47,95	36,57
Floresta	2	15-30	A	2,58	19,53	33,83	17,40	20,44	3,99	4,82	40	43,72	17,68
Floresta	2	15-30	B	2,51	21,96	23,76	20,12	27,17	6,88	0,11	40	38,07	17,41
Floresta	3	0-5	A	3,03	26,35	37,01	16,49	14,38	3,05	5,43	20	51,25	34,83
Floresta	3	0-5	B	2,99	29,07	32,17	10,56	18,90	2,75	9,27	40	42,78	35,69
Floresta	3	5-15	A	3,14	31,84	26,89	18,47	22,35	1,86	-1,40	30	46,89	27,09
Floresta	3	5-15	B	3,39	32,16	38,93	15,46	9,43	2,15	1,87	50	54,54	28,35
Floresta	3	15-30	A	3,23	35,27	24,64	17,43	16,46	4,37	4,92	30	31,25	10,86
Floresta	3	15-30	B	3,32	35,41	28,40	15,56	16,51	2,70	4,52	30	29,36	12,21
Floresta	4	0-5	A	2,85	27,17	25,66	22,48	17,68	4,37	2,65	70	36,66	22,04
Floresta	4	0-5	B	2,41	18,63	24,56	27,40	21,81	5,23	2,37	60	36,07	19,06
Floresta	4	5-15	A	2,82	24,41	29,70	22,68	19,50	2,66	1,06	10	28,31	13,64
Floresta	4	5-15	B	2,65	20,94	28,38	28,05	17,70	3,64	1,28	20	27,36	15,23
Floresta	4	15-30	A	3,43	36,77	28,51	19,02	12,28	2,87	0,56	30	29,01	16,27
Floresta	4	15-30	B	3,55	39,77	26,00	21,27	10,38	2,02	0,55	30	32,07	9,85

⁽¹⁾ U.A: Unidade Amostral.

⁽²⁾ Rep.: Repetição

Apêndice 9. Carbono orgânico total do solo (COT), nitrogênio total do solo (NT), carbono orgânico de raízes (CO_r), nitrogênio de raízes (Nr), matéria seca de raízes (MS_r), comprimento de raízes (Cr), densidade de comprimento de raízes (DC_r), volume de raízes (V_r) e área de raízes (Ar) em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.

Sistema	U.A ⁽¹⁾	Prof	COT	NT	Prof. Raízes	CO _r	Nr	MS _r ** ⁽²⁾	Cr	DC _r	V _r	Ar
		cm	----- g 100 g ⁻¹ -----		cm	----- g kg ⁻¹ raízes -----		g cm ⁻³	----- cm cm ⁻³ -----		cm ³ cm ⁻³	cm ² cm ⁻³
Milho	1	0-5	2,42	0,23	0-5	386,47	10,88	0,13	0,77	0,38	0,92	0,82
Milho	1	5-15	2,43	0,24	5-15	418,07	8,48	0,10	0,12	0,03	0,78	0,61
Milho	1	15-30	1,42	0,15	15-36	413,15	16,64	0,03	0,18	0,02	0,21	0,19
Milho	2	0-5	2,19	0,21	0-5	387,41	13,41	0,13	1,12	0,56	1,18	1,13
Milho	2	5-15	1,99	0,20	5-15	417,17	14,17	0,23	1,53	0,38	2,73	1,88
Milho	2	15-30	1,30	0,15	15-36	422,82	10,69	0,15	0,99	0,12	3,39	1,60
Milho	3	0-5	2,53	0,23	0-5	386,16	13,32	0,13	1,71	0,85	2,30	1,94
Milho	3	5-15	2,16	0,21	5-15	393,40	13,06	0,01	2,35	0,59	4,76	3,01
Milho	3	15-30	1,56	0,16	15-36	400,69	9,56	0,17	1,43	0,17	3,26	1,89
Milho	4	0-5	2,56	0,26	0-5	392,22	12,26	0,11	1,84	0,92	1,91	1,86
Milho	4	5-15	2,38	0,24	5-15	399,90	11,52	0,14	1,92	0,48	2,49	2,06
Milho	4	15-30	1,85	0,20	15-36	402,39	11,20	0,02	0,48	0,06	0,78	0,58
Pupunha	1	0-5	1,84	0,20	0-5	382,70	9,18	2,18	1,15	1,15	7,89	2,74
Pupunha	1	5-15	1,65	0,19	5-15	378,85	9,79	2,23	2,03	1,01	18,98	5,50
Pupunha	1	15-30	1,37	0,16	15-36	385,26	9,68	0,77	1,78	0,42	14,70	4,35
Pupunha	2	0-5	1,92	0,21	0-5	370,74	10,11	1,39	3,14	3,14	12,37	5,34
Pupunha	2	5-15	1,82	0,20	5-15	384,16	9,34	0,78	2,02	1,01	10,05	3,75
Pupunha	2	15-30	1,56	0,17	15-36	380,35	10,37	0,10	1,40	0,33	3,88	2,17
Pupunha	3	0-5	2,13	0,23	0-5	360,51	9,80	1,00	1,76	1,76	12,65	3,77
Pupunha	3	5-15	1,84	0,20	5-15	391,42	10,30	0,35	1,51	0,76	6,34	2,64
Pupunha	3	15-30	1,75	0,20	15-36	385,67	10,46	0,15	0,87	0,21	3,48	1,54
Pupunha	4	0-5	2,21	0,25	0-5	390,28	11,33	0,45	2,02	2,02	6,14	2,91
Pupunha	4	5-15	2,00	0,22	5-15	384,08	11,55	1,72	1,96	0,98	15,28	4,17
Pupunha	4	15-30	1,73	0,20	15-36	377,01	6,93	2,06	1,44	0,34	10,62	3,44

⁽¹⁾ U.A: Unidade Amostral

⁽²⁾ MS_r **: unidade em g cm⁻³ de volume de solo: 1.200; 2.400 e 5.040 cm⁻³ de solo nas profundidades 0-5; 5-15 e 15-36 respectivamente

(Continuação)

Sistema	U.A ⁽¹⁾	Prof	COT	NT	Prof. Raízes	CO _r	N _r	MS _r ** ⁽²⁾	Cr	DC _r	V _r	Ar
		cm	----- g 100 g ⁻¹ -----		cm	----- g kg ⁻¹ raízes -----		g cm ⁻³	----- cm cm ⁻³ -----		cm ³ cm ⁻³	cm ² cm ⁻³
Floresta	1	0-5	1,48	0,13	0-5	422,90	20,84	1,87	3,66	3,66	15,82	7,13
Floresta	1	5-15	1,53	0,15	5-15	428,75	19,34	5,86	4,99	2,49	24,24	10,18
Floresta	1	15-30	1,09	0,11	15-36	371,47	17,47	4,10	4,72	1,12	24,48	9,98
Floresta	2	0-5	2,02	0,20	0-5	421,86	18,53	1,53	2,16	2,16	13,42	4,70
Floresta	2	5-15	2,46	0,23	5-15	437,89	19,28	3,44	3,74	1,87	29,01	9,08
Floresta	2	15-30	1,58	0,16	15-36	418,98	17,99	6,31	6,15	1,47	42,75	14,38
Floresta	3	0-5	2,83	0,28	0-5	416,68	24,92	1,60	4,56	4,56	14,62	7,12
Floresta	3	5-15	2,39	0,26	5-15	414,87	23,04	3,76	2,56	1,28	10,20	4,45
Floresta	3	15-30	1,31	0,16	15-36	419,78	21,07	2,18	2,36	0,56	18,15	5,26
Floresta	4	0-5	1,67	0,17	0-5	410,46	18,35	1,99	4,79	4,79	15,45	7,71
Floresta	4	5-15	1,61	0,18	5-15	414,69	13,65	2,63	1,81	0,91	13,74	4,28
Floresta	4	15-30	1,11	0,14	15-36	389,53	21,84	3,02	3,79	0,90	25,48	8,59

⁽¹⁾ U.A: Unidade Amostral

⁽²⁾ MS_r **: unidade em g cm⁻³ de volume de solo: 1.200; 2.400 e 5.040 cm⁻³ de solo nas profundidades 0-5; 5-15 e 15-36 respectivamente

Apêndice 10. Indicadores de fertilidade do solo: pH em CaCl₂, índice SMP, alumínio (Al⁺³), acidez potencial (Al+H), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e potássio (K⁺) trocáveis e fósforo disponível (P) nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.

Sistema	U.A ⁽¹⁾	Prof. cm	pH em CaCl ₂	índice SMP	Al ⁺³	Al+H	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P disponível
					----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----
Milho	1	0-5	5,32	6,15	0,0	4,6	6,0	1,7	0,4	45,4
Milho	1	5-15	5,7	6,4	0,0	3,7	6,9	1,7	0,2	38,6
Milho	1	15-30	6,22	6,59	0,0	3,2	10,2	1,1	0,1	18,2
Milho	2	0-5	4,32	5,48	1,0	7,4	3,2	1,2	0,2	14,3
Milho	2	5-15	4,21	5,44	1,0	7,8	2,8	1,1	0,2	11,1
Milho	2	15-30	3,92	5,49	1,6	7,2	1,7	0,7	0,1	2,7
Milho	3	0-5	4,71	5,8	0,3	5,8	4,0	1,4	0,2	30,6
Milho	3	5-15	4,71	5,79	0,3	5,8	4,3	1,5	0,1	28,4
Milho	3	15-30	4,13	5,47	1,6	7,2	1,3	0,6	0,1	2,8
Milho	4	0-5	4,33	5,45	1,0	7,8	3,2	1,2	0,2	34,9
Milho	4	5-15	4,41	5,46	0,8	7,8	3,2	1,2	0,1	37,1
Milho	4	15-30	3,99	5,15	2,4	9,7	1,1	0,4	0,1	2,4
Pupunha	1	0-5	5,22	6,17	0,0	4,6	4,5	1,9	0,5	24,0
Pupunha	1	5-15	5,08	6,16	0,3	4,6	4,2	1,8	0,2	18,2
Pupunha	1	15-30	4,87	6,13	0,2	4,6	3,3	1,6	0,2	11,0
Pupunha	2	0-5	5,24	6,24	0,1	4,3	5,0	2,3	0,5	30,0
Pupunha	2	5-15	5,08	6,09	0,1	4,6	4,6	2,1	0,3	22,9
Pupunha	2	15-30	4,88	6,1	0,2	4,6	3,5	1,9	0,2	13,2
Pupunha	3	0-5	5,6	6,5	0,1	3,4	5,9	2,6	0,7	27,4
Pupunha	3	5-15	5,23	6,16	0,1	4,6	5,2	2,4	0,2	17,7
Pupunha	3	15-30	4,94	6,03	0,2	5,0	4,0	2,3	0,1	4,6
Pupunha	4	0-5	5,09	6,06	0,0	5,0	5,5	2,9	0,5	21,2
Pupunha	4	5-15	5,13	6,2	0,0	4,3	4,9	2,4	0,3	10,7
Pupunha	4	15-30	4,78	6,06	0,2	5,0	3,7	1,8	0,1	2,1
Floresta	1	0-5	4,44	5,99	1,3	5,0	3,1	1,2	0,1	6,9
Floresta	1	5-15	4,27	5,91	0,5	5,4	2,1	0,9	0,1	6,2
Floresta	1	15-30	4,26	6,07	0,6	5,0	1,8	0,7	0,0	6,2
Floresta	2	0-5	4,12	5,67	0,9	6,7	2,0	0,9	0,1	7,0
Floresta	2	5-15	4,19	5,55	0,8	7,2	2,4	1,0	0,1	11,4
Floresta	2	15-30	4,39	5,66	0,5	6,7	3,5	1,5	0,1	6,5
Floresta	3	0-5	4,23	5,48	0,7	7,2	2,9	1,5	0,1	6,5
Floresta	3	5-15	4,19	5,5	0,7	7,2	2,8	1,5	0,1	5,9
Floresta	3	15-30	4,07	5,63	1,2	6,7	1,6	0,8	0,0	4,7
Floresta	4	0-5	4,65	6,11	0,2	4,6	2,9	1,3	0,1	7,0
Floresta	4	5-15	4,12	5,78	0,9	6,2	1,8	0,7	0,0	5,9
Floresta	4	15-30	4,02	5,81	1,3	5,8	1,2	0,3	0,0	5,8

⁽¹⁾ U.A: Unidade Amostral

Apêndice 11. Teores de argila, silte, areia total, areia grossa e areia fina nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.

Sistema	U.A ⁽¹⁾	Prof. cm	Argila	Silte	Areia total	Areia	Areia
						grossa	fina
			g kg ⁻¹				
Milho	1	0-5	500,0	450,0	50,0	4,9	45,1
Milho	1	5-15	512,5	437,5	50,0	5,3	44,7
Milho	1	15-30	512,5	437,5	50,0	12,7	37,3
Milho	2	0-5	487,5	462,5	50,0	1,9	48,1
Milho	2	5-15	487,5	462,5	50,0	1,8	48,2
Milho	2	15-30	425,0	525,0	50,0	3,3	46,7
Milho	3	0-5	462,5	487,5	50,0	2,4	47,6
Milho	3	5-15	462,5	475,0	62,5	3,7	58,8
Milho	3	15-30	437,5	512,5	50,0	3,1	46,9
Milho	4	0-5	537,5	425,0	37,5	6,2	31,3
Milho	4	5-15	537,5	425,0	37,5	6,4	31,1
Milho	4	15-30	525,0	425,0	50,0	9,6	40,4
Pupunha	1	0-5	537,5	425,0	37,5	5,1	32,4
Pupunha	1	5-15	550,0	412,5	37,5	4,4	33,1
Pupunha	1	15-30	550,0	412,5	37,5	2,6	34,9
Pupunha	2	0-5	537,5	400,0	62,5	5,9	56,6
Pupunha	2	5-15	537,5	412,5	50,0	7,5	42,5
Pupunha	2	15-30	537,5	412,5	50,0	8,0	42,0
Pupunha	3	0-5	550,0	412,5	37,5	5,3	32,2
Pupunha	3	5-15	550,0	412,5	37,5	4,7	32,8
Pupunha	3	15-30	550,0	412,5	37,5	6,6	30,9
Pupunha	4	0-5	550,0	412,5	37,5	5,2	32,3
Pupunha	4	5-15	537,5	412,5	50,0	8,7	41,3
Pupunha	4	15-30	537,5	412,5	50,0	7,1	42,9
Floresta	1	0-5	212,5	275,0	512,5	111,9	400,6
Floresta	1	5-15	187,5	287,5	525,0	86,8	438,2
Floresta	1	15-30	187,5	287,5	525,0	79,6	445,4
Floresta	2	0-5	262,5	362,5	375,0	66,4	308,6
Floresta	2	5-15	287,5	362,5	350,0	44,2	305,8
Floresta	2	15-30	312,5	362,5	325,0	35,3	289,7
Floresta	3	0-5	300,0	412,5	287,5	26,4	261,1
Floresta	3	5-15	312,5	400,0	287,5	38,8	248,7
Floresta	3	15-30	300,0	362,5	337,5	48,4	289,1
Floresta	4	0-5	237,5	325,0	437,5	68,9	368,6
Floresta	4	5-15	262,5	325,0	412,5	82,7	329,8
Floresta	4	15-30	237,5	300,0	462,5	172,3	290,2

⁽¹⁾ U.A: Unidade Amostral

Apêndice 12. Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e densidade do solo nas profundidades 0 a 5, 5 a 15 e 15 a 30 cm, em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.

Sistema	Unidade Amostrал	Prof. cm	Repetição	C-BMS mg kg⁻¹	Densidade kg dm⁻³
Milho	1	0-5	A	405,849	0,739
Milho	1	0-5	B	438,918	0,849
Milho	1	0-5	C	333,698	0,802
Milho	1	5-15	A	514,075	0,828
Milho	1	5-15	B	523,094	0,817
Milho	1	5-15	C	490,025	0,850
Milho	1	15-30	A	162,339	0,939
Milho	1	15-30	B	270,566	0,877
Milho	1	15-30	C	159,333	0,886
Milho	2	0-5	A	357,748	0,935
Milho	2	0-5	B	402,842	0,819
Milho	2	0-5	C	375,786	0,816
Milho	2	5-15	A	321,673	0,773
Milho	2	5-15	B	294,616	0,814
Milho	2	5-15	C	306,641	0,848
Milho	2	15-30	A	258,541	0,985
Milho	2	15-30	B	273,572	1,101
Milho	2	15-30	C	267,559	1,028
Milho	3	0-5	A	697,458	0,935
Milho	3	0-5	B	493,031	0,799
Milho	3	0-5	C	538,125	0,749
Milho	3	5-15	A	372,779	0,753
Milho	3	5-15	B	363,761	0,934
Milho	3	5-15	C	354,742	0,798
Milho	3	15-30	A	261,547	1,030
Milho	3	15-30	B	228,478	1,049
Milho	3	15-30	C	234,490	1,021
Milho	4	0-5	A	372,779	0,861
Milho	4	0-5	B	354,742	0,745
Milho	4	0-5	C	363,761	0,801
Milho	4	5-15	A	357,748	0,929
Milho	4	5-15	B	321,673	0,824
Milho	4	5-15	C	312,654	0,741
Milho	4	15-30	A	243,509	0,842
Milho	4	15-30	B	153,321	0,884
Milho	4	15-30	C	246,515	0,979

(Continuação)

Sistema	Unidade Amostral	Prof. cm	Repetição	C-BMS mg kg⁻¹	Densidade kg dm⁻³
Pupunha	1	0-5	A	1046,187	1,082
Pupunha	1	0-5	B	965,018	1,062
Pupunha	1	0-5	C	865,810	0,929
Pupunha	1	5-15	A	577,207	1,035
Pupunha	1	5-15	B	724,515	0,999
Pupunha	1	5-15	C	529,106	1,107
Pupunha	1	15-30	A	252,528	1,085
Pupunha	1	15-30	B	264,553	1,033
Pupunha	1	15-30	C	294,616	0,937
Pupunha	2	0-5	A	968,024	1,096
Pupunha	2	0-5	B	1022,137	1,005
Pupunha	2	0-5	C	1040,175	0,970
Pupunha	2	5-15	A	631,320	1,055
Pupunha	2	5-15	B	640,339	1,020
Pupunha	2	5-15	C	586,226	1,029
Pupunha	2	15-30	A	363,761	1,043
Pupunha	2	15-30	B	405,849	1,034
Pupunha	2	15-30	C	387,811	1,074
Pupunha	3	0-5	A	826,729	0,895
Pupunha	3	0-5	B	1013,118	0,777
Pupunha	3	0-5	C	862,804	0,956
Pupunha	3	5-15	A	381,798	0,796
Pupunha	3	5-15	B	384,805	0,854
Pupunha	3	5-15	C	348,729	0,880
Pupunha	3	15-30	A	294,616	0,953
Pupunha	3	15-30	B	264,553	0,929
Pupunha	3	15-30	C	327,685	0,910
Pupunha	4	0-5	A	1007,106	0,945
Pupunha	4	0-5	B	928,942	0,932
Pupunha	4	0-5	C	757,584	0,984
Pupunha	4	5-15	A	598,251	1,005
Pupunha	4	5-15	B	571,194	1,008
Pupunha	4	5-15	C	547,144	1,027
Pupunha	4	15-30	A	429,899	1,032
Pupunha	4	15-30	B	378,792	1,060
Pupunha	4	15-30	C	426,893	1,015

(Continuação)

Sistema	Unidade Amostral	Prof. cm	Repetição	C-BMS mg kg⁻¹	Densidade kg dm⁻³
Floresta	1	0-5	A	1007,106	0,844
Floresta	1	0-5	B	1013,118	0,927
Floresta	1	0-5	C	141,295	0,938
Floresta	1	5-15	A	799,672	1,095
Floresta	1	5-15	B	808,691	1,060
Floresta	1	5-15	C	784,641	1,091
Floresta	1	15-30	A	303,635	0,993
Floresta	1	15-30	B	297,622	1,009
Floresta	1	15-30	C	297,622	1,007
Floresta	2	0-5	A	1115,332	1,129
Floresta	2	0-5	B	1064,225	0,949
Floresta	2	0-5	C	781,634	1,044
Floresta	2	5-15	A	643,345	1,089
Floresta	2	5-15	B	613,282	1,010
Floresta	2	5-15	C	637,333	1,081
Floresta	2	15-30	A	348,729	0,908
Floresta	2	15-30	B	336,704	0,844
Floresta	2	15-30	C	351,735	0,855
Floresta	3	0-5	A	1145,395	0,836
Floresta	3	0-5	B	1136,376	0,753
Floresta	3	0-5	C	1115,332	0,831
Floresta	3	5-15	A	622,301	0,758
Floresta	3	5-15	B	583,219	0,898
Floresta	3	5-15	C	592,238	0,920
Floresta	3	15-30	A	273,572	0,880
Floresta	3	15-30	B	306,641	0,966
Floresta	3	15-30	C	297,622	1,014
Floresta	4	0-5	A	559,169	1,094
Floresta	4	0-5	B	517,081	1,042
Floresta	4	0-5	C	583,219	0,976
Floresta	4	5-15	A	282,591	1,118
Floresta	4	5-15	B	243,509	1,074
Floresta	4	5-15	C	192,402	1,099
Floresta	4	15-30	A	180,377	1,092
Floresta	4	15-30	B	168,352	1,184
Floresta	4	15-30	C	156,327	1,209

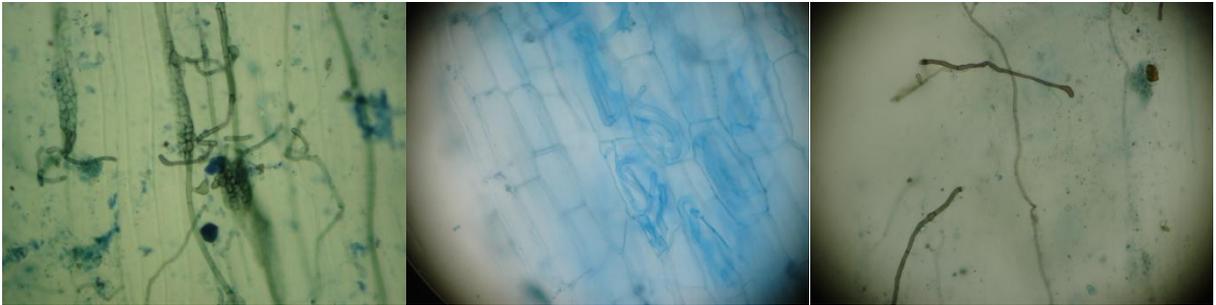
Apêndice 13. Análise de variância para matéria seca de raízes (MSr) em três sistemas de uso do solo, em Cambissolo Háplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR. ** significativo a 1%.

Sistema	Matéria Seca de Raízes (g) *
Profundidade 0-5 cm	
Milho	0,13 b **
Pupunha	1,26 a
Floresta	1,75 a
<i>DMS</i>	<i>0,96</i>
<i>CV(%)</i>	<i>43</i>
Profundidade 5-15 cm	
Milho	0,12 b **
Pupunha	1,27 b
Floresta	3,92 a
<i>DMS</i>	<i>1,81</i>
<i>CV(%)</i>	<i>47,31</i>
Profundidade 15-36 cm	
Milho	0,27 b **
Pupunha	0,75 b
Floresta	1,93 a
<i>DMS</i>	<i>0,98</i>
<i>CV(%)</i>	<i>45,07</i>

* massa em gramas por volume de solo: 1.200; 2.400 e 5.040 cm⁻³ nas profundidades 0 a 5; 5 a 15 e 15 a 36 cm respectivamente. Letras comparam sistemas em cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %.

MSr	F.V	GL	SQ	QM	F
0-5 cm	Tratamento	2	5,535	2,767	14,399 **
	Resíduo	9	1,730	0,192	
5-15 cm	Tratamento	2	30,423	15,211	17,287 **
	Resíduo	9	7,919	0,879	
15-36 cm	Tratamento	2	33,050	16,525	12,294 **
	Resíduo	9	12,096	1,344	

Apêndice 14. Microscopia óptica da colonização de fungos endofíticos em três sistemas de uso do solo, em CambissoloHáplico Tb Distrófico no município de Antonina – PR.



Milho



Pupunha



Floresta

- Os resultados da avaliação de colonização por FMA não foram incluídos na dissertação, devido à maioria das espécies encontradas se tratarem de microesclerócios e hifas de fungos endofíticos melanizados, ou *dark septate fungi*. A presença do endofítico melanizado e a não presença do micorrízico arbuscular pode ser resultado de competição entre os simbiossiontes.

Apêndice 15. Procedimento de aquisição dos dados de atributos de raízes no programa Safira: escaneamento, segmentação, transformação de distância, esqueleto e esqueleto colorido.



Disposição das fibras na base de um escâner comercial e digitalização em preto e branco, com resolução de 200 dpi.

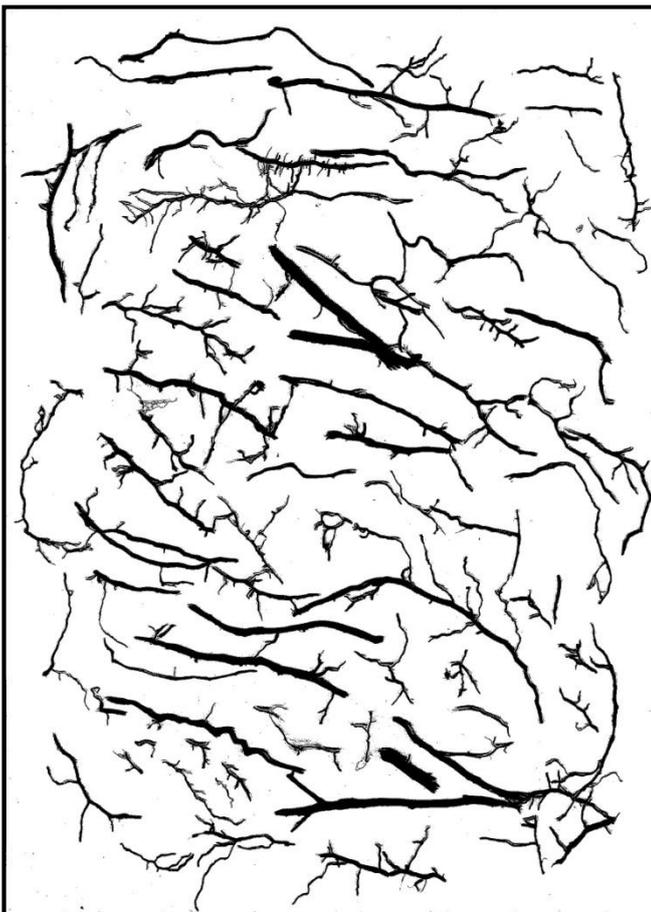


Imagem escaneada

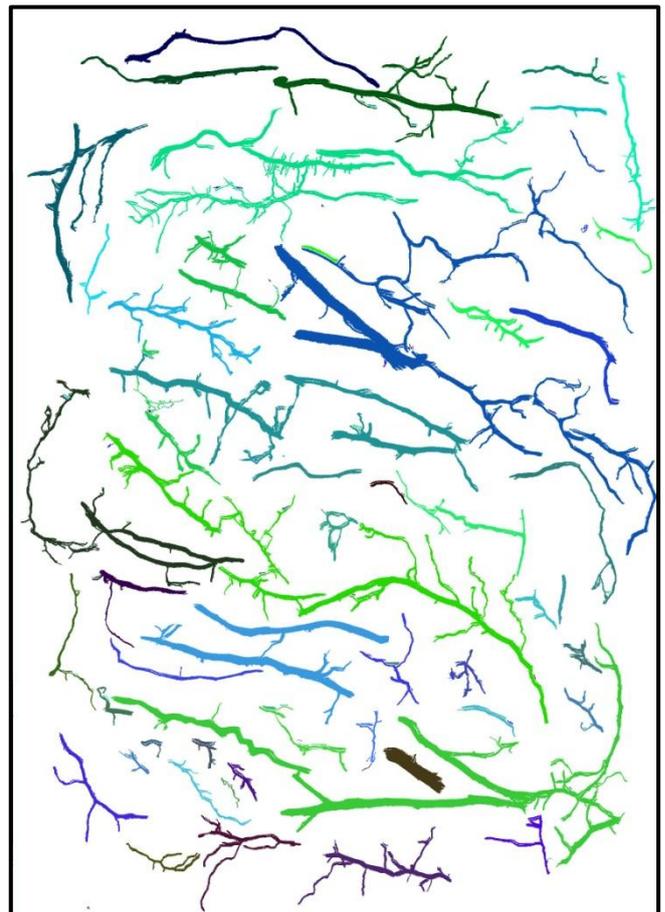
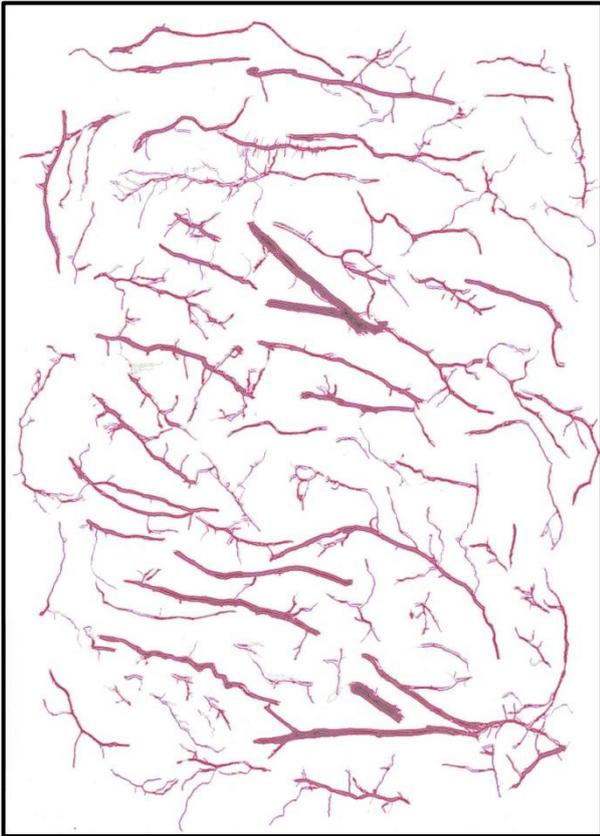
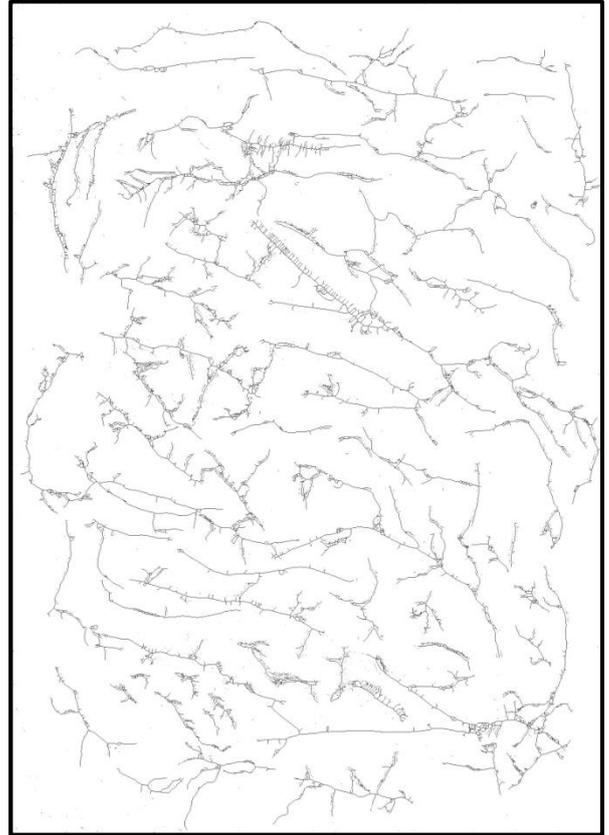


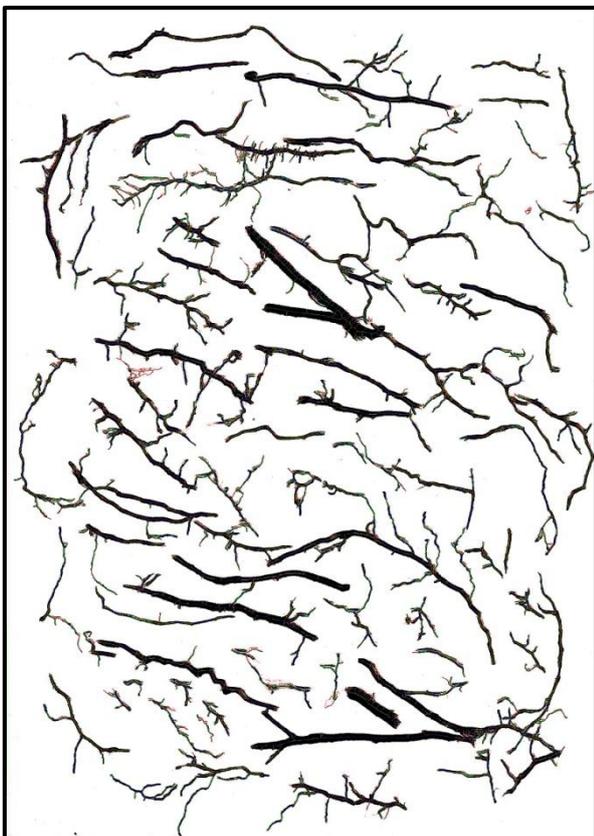
Imagem segmentada



Transformação de
distância



Esqueleto



Esqueleto colorido

Após a obtenção da imagem “esqueleto colorido” a imagem é processada para aquisição dos dados representativos de volume, área, comprimento e diâmetro médio de raízes em milímetro.

Apêndice 16. Obtenção das imagens da arquitetura de raízes pelo software IDRISI Selva 17.0.

- 1- Imagens originais das raízes lavadas nas placas de pregos coletadas nas quatro áreas do sistema Floresta.



2 – Imagens originais das raízes lavadas nas placas de pregos coletadas nas quatro áreas do sistema Pupunha.



3 – Imagens originais das raízes lavadas nas placas de pregos coletadas nas quatro áreas do sistema Milho.

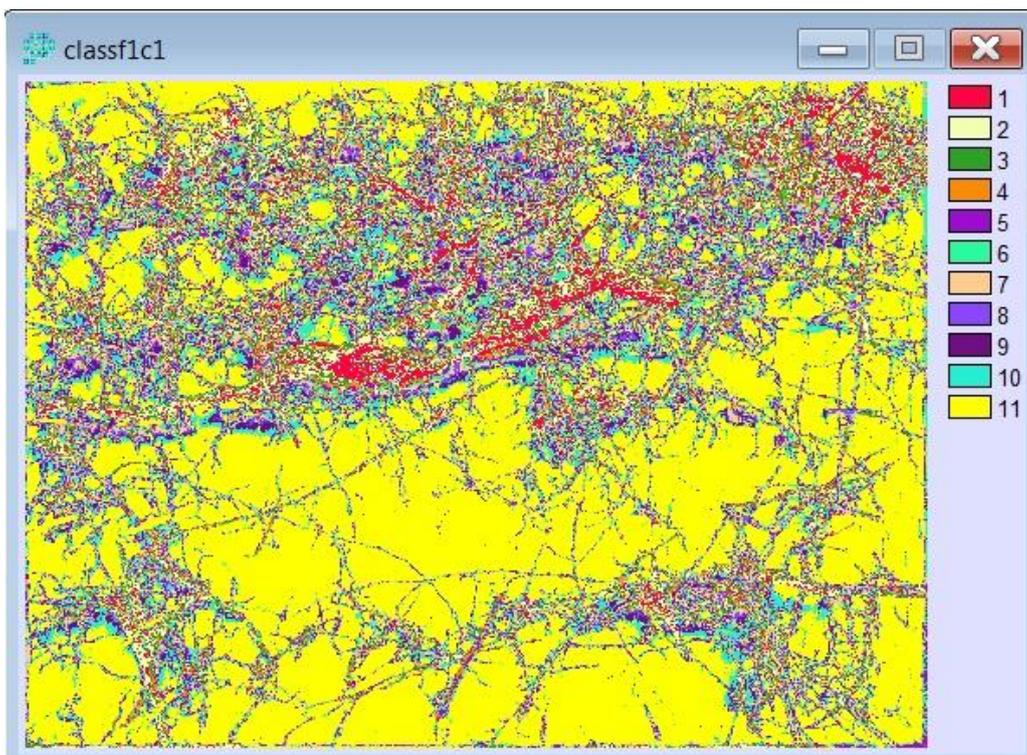


4. Processo sequencial de aquisição de imagem no software Idrisi:

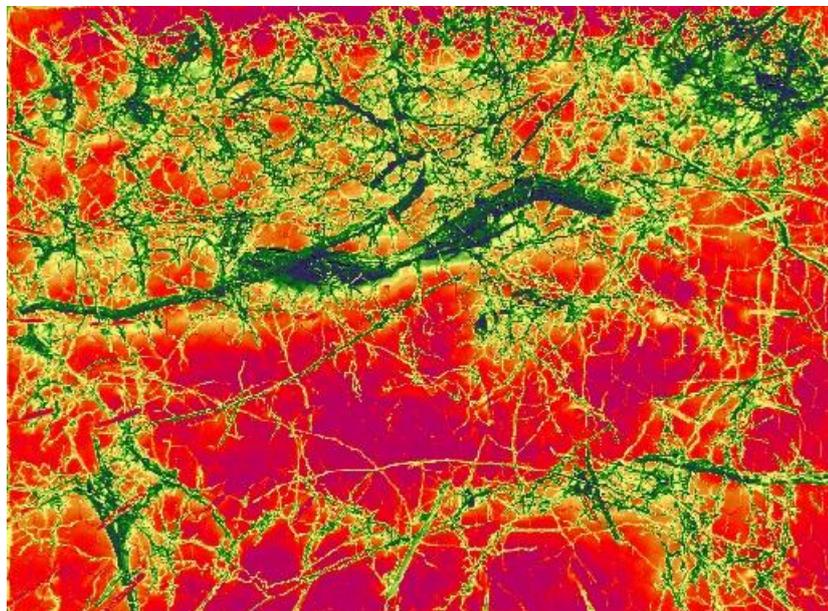
4.1. Obtenção da imagem das raízes dispostas na placa de pregos.



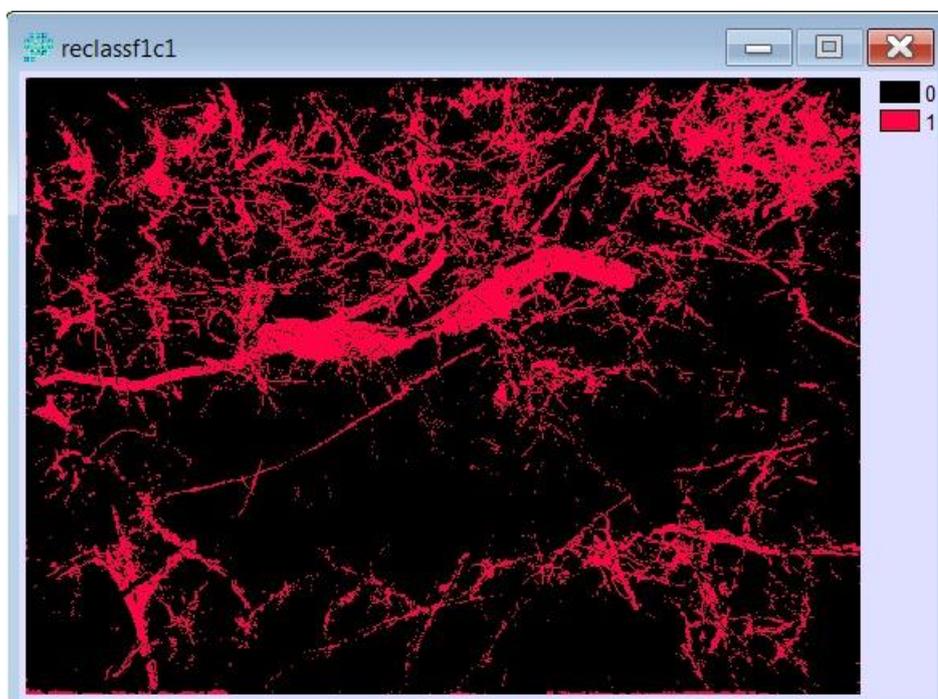
4.2. Processamento e classificação da imagem das raízes numa paleta de cores no software Idrisi.



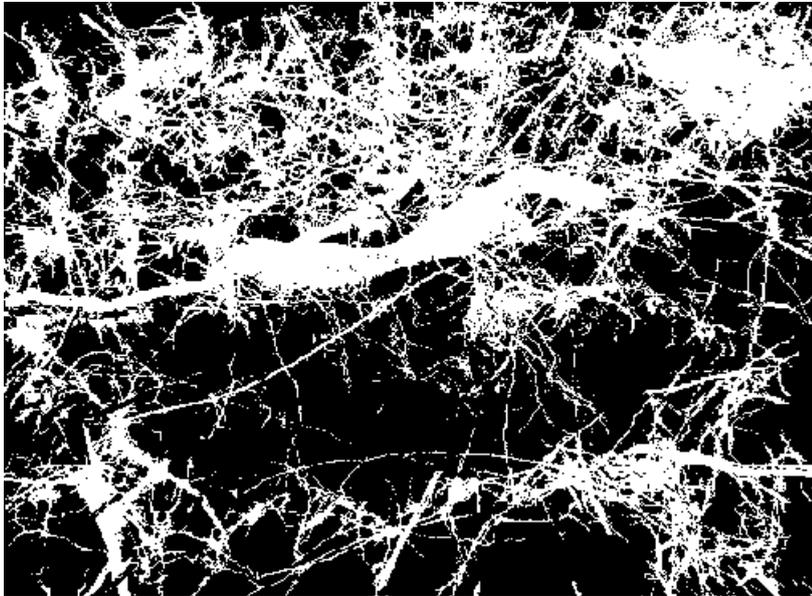
4.3. Imagem obtida pelo software Idrisi após a classificação com as cores correspondentes às fibras de raízes.



4.4. Binarização da imagem obtida pelo software Idrisi após a classificação das cores correspondentes às fibras de raízes.



4.5. Imagem em preto e branco correspondente à disposição das raízes originalmente no perfil do solo, obtida no software Idrisi.



Apêndice 17. Matéria seca da parte aérea das espécies que compõe os sistemas de uso, da vegetação espontânea da entrelinha no Pupunha e da serapilheira na Floresta, em três sistemas de uso do solo.

Sistema	Repetição	Matéria Verde	Matéria Seca
		----- kg 3,4 m ² -----	
Milho	1	8,590	1,476
	2	5,640	1,190
	3	2,690	0,525
	4	7,008	1,312

Sistema	Indivíduo	Matéria seca (kg planta ⁻¹)		
		Estipe	Folhas	Total
Pupunha	Planta 1	1,471	1,231	2,702
	Planta 2	1,378	0,920	2,298
	Planta 3	0,935	0,988	1,923
	Planta 4	1,218	1,253	2,471
	Planta 5	0,322	0,686	1,008
	Planta 6	0,391	0,555	0,946

Sistema	Matéria Vegetal	Matéria seca (g 0,25 m ²)			
		Repetição			
		1	2	3	4
Pupunha	Espontâneas	37,5	19,5	36,0	25,5
Floresta	Serapilheira	88,4	96,0	146,0	118,5

Floresta	Família	Espécie	Perímetro	Altura	Diâmetro	Matéria seca **
Repetição 1	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	39	11	12,4	3,9
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	37	13	11,8	4,0
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	33	12	10,5	3,9
	Fabáceae	<i>Schizolobium parahyba</i>	7	8	2,2	2,1
Repetição 2	Fabáceae	<i>Bauhinia forficata</i>	35	8	11,1	3,5
	Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	23	6	7,3	2,9
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	92	15	29,3	4,5
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	85	12	27,1	4,3
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	64	15	20,4	4,4
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	35	7	11,1	3,3
	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	22	5	7,0	2,7
Repetição 3	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	28	7	8,9	3,2
	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	32	8	10,2	3,5
	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	26	7	8,3	3,2
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	57	12	18,2	4,1
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	24	12	7,6	3,8
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	35	11	11,1	3,8
	Fabáceae	<i>Ingá Laurina</i>	25	5	8,0	2,8
	Fabáceae	<i>Ingá Laurina</i>	45	8	14,3	3,6
	Flacourtiaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	18	5	5,7	2,6
	Brassicaceae	<i>Crateva tapia</i>	47	7	15,0	3,5
Repetição 4	Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	90	15	28,7	4,5
	Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	68	15	21,7	4,4
	Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	66	15	21,0	4,4
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	36	7	11,5	3,4
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	32	7	10,2	3,3
	Lauraceae	<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	89	15	28,3	4,5
	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	26	4	8,3	2,5
	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	30	4	9,6	2,6
	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	17	4	5,4	2,2
	Flacourtiaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	16	4	5,1	2,2
	Caesalpiniáceas	<i>Dimorphandra mollis</i>	15	4	4,8	2,0
	Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	24	7	7,6	3,2
	Brassicaceae	<i>Crateva tapia</i>	26	6	8,3	3,0
	Brassicaceae	<i>Crateva tapia</i>	46	8	14,6	3,6

** Matéria seca estimada pela equação proposta por Burger & Delitti, (2008) específica para árvores da Mata Atlântica ($\ln PS = -3,676 + 0,951 \ln d^2 h$) onde LnPS: logaritmo neperiano da massa seca, d: diâmetro e h: altura.

Floresta	Família	Espécie	Perímetro	Altura	Diâmetro	Matéria seca **
			----- cm -----			kg
Repetição 1	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	24	5	7,6	1,869
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	19	6	6,1	1,172
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	29	7	9,2	2,730
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	23	6	7,3	1,717
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	23	7	7,3	1,717
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	38	10	12,1	4,687
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	33	8	10,5	3,534
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	45	12	14,3	6,572
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	40	10	12,7	5,193
Repetição 2	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	35	12	11,1	3,976
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	28	7	8,9	2,545
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	22	5	7,0	1,571
Repetição 3	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	38	8	12,1	4,687
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	30	7	9,6	2,921
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	15	4	5,0	0,549
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	18	4	5,7	1,052
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	31	6	9,9	3,119
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	32	6	10,2	3,323
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	17	7	5,4	0,938
Repetição 4	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	23	7	7,3	1,717
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	21	6	6,7	1,431
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	15	4	5,0	0,636
	Palmae	<i>Euterpe edulis</i>	15	4	5,0	0,636

** Matéria seca estimada pela equação proposta por Clement & Bovi (2000) específica para palmeiras, matéria seca = $0,032*d^2$ onde d: diâmetro

Apêndice 18. Perfis representativos de CAMBISSOLO Háptico Tb distrófico típico em três sistemas de uso do solo, no município de Antonina – PR.

DESCRIÇÃO GERAL – Sistema Milho

DATA – 19/03/2014

CLASSIFICAÇÃO – CAMBISSOLO Háptico Tb distrófico típico

LOCALIZAÇÃO; MUNICÍPIO; ESTADO E COORDENADAS – Propriedade Rural do Sr. Paulo Marceluk. Bairro: Cachoeira; Município de Antonina – PR;

SITUAÇÃO; DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Plano / suave ondulado; 2 a 3%.

ALTITUDE – 52 metros.

LITOLOGIA; UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Haloceno quaternário (argissolo).

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto de decomposição das rochas Sedimentos do Haloceno quaternário (argissolo).

PEDREGOSIDADE – não pedregosa.

ROCHOSIDADE – não rochosa.

RELEVO LOCAL – plano.

RELEVO REGIONAL – suave ondulado.

EROSÃO – Ligeira; laminar.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Densa - Floresta subtropical

USO ATUAL – Lavoura de milho – sistema convencional (Área de Preservação Permanente).

DESCRITO E COLETADO POR: L. S. O. P. Paes

RAÍZES – fina e pouca nos horizontes Ap; Bi e Ab.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 10cm; bruno amarelado escuro (10 YR 4/6 úmido); franco argilosiltosa; moderada pequena; blocos subangulares; muito friável; plástica; ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bi 10 – 18 cm; bruno amarelado (10YR 5/8 úmido); franco argilosa; forte; média a grande; blocos subangulares; friável; plástica; ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Ab 18 – 25 cm; bruno amarelado (10YR 5/8 úmido); franco argilosa; moderada; pequena a média; granular a blocos subangular; muito friável; plástica; pegajosa; transição plana e clara.

Bbi 25 – 60 cm; bruno amarelado (10YR 5/8 úmido); argilosiltosa; forte; média grande; blocos subangulares; muito friável; muito plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Bc 60 – 80+ cm; bruno amarelado (10YR 5/8 úmido); argilosiltosa; forte; grande a muito grande; blocos subangulares; friável; plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Observações:

- Perfil descrito e coletado em trincheira de 100 cm de profundidade.
- Perfil descrito na lavoura de milho; em dia ensolarado;
- Horizonte superficial depositado por atividade antropogênica;

Horizontes	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg	Areia Total g kg ⁻¹	Classe textural	Cor úmido	Cor seco
Ap	325	487,5	187,5	Franco argilosiltosa	10YR 4/6	2,5 YR 6/6
Bi	300	462,5	237,5	Franco argilosa	10 YR 5/8	2,6 YR 6/6
Ab	262,5	450	287,5	Franco argilosa	10YR 5/8	2,5 YR 7/6
Bbi	462,5	462,5	75	Argilosiltosa	10 YR 5/8	2,5 YR 7/6
Bc	387,5	475	137,5	Argilosiltosa	10 YR 5/8	2,5 YR 7/8

Horizontes	pH CaCl ₂	índice SMP	cmol _c dm ⁻³					K ⁺	P disponível mg dm ⁻³	C g dm ⁻³	SB	T	V%
			Al ⁺³	Al+H	Ca ⁺²	Mg ⁺²							
Ap	4,38	5,48	0,89	7,2	3,8	1,3	0,24	11,7	17,2	5,34	12,54	43	
Bi	4,02	5,21	2,28	9	1,1	0,5	0,07	1,6	10,5	1,67	10,67	16	
Ab	4,01	5,17	2,28	9	1	0,5	0,07	1,6	12,4	1,57	10,57	15	
Bbi	4,14	5,65	1,9	6,7	1,1	0,3	0,04	1	15,3	1,44	8,14	18	
Bc	4,13	5,81	1,93	5,8	0,8	0,2	0,03	1,6	2,4	1,03	6,83	15	



DESCRIÇÃO GERAL – Sistema Pupunha

DATA – 26/03/2014

CLASSIFICAÇÃO – CAMBISSOLO Háplico Tb distrófico típico

LOCALIZAÇÃO; MUNICÍPIO; ESTADO E COORDENADAS – Propriedade Rural do Sr. Paulo Marceluk. Bairro: Cachoeira; Município de Antonina – PR;

SITUAÇÃO; DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Plano / suave ondulado; 2 a 3%.

ALTITUDE – 52 metros.

LITOLOGIA; UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Holoceno quaternário (argissolo).

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto de decomposição das rochas Sedimentos do Holoceno quaternário (argissolo).

PEDREGOSIDADE – não pedregosa.

ROCHOSIDADE – não rochosa.

RELEVO LOCAL – plano.

RELEVO REGIONAL – suave ondulado.

EROSÃO – Não.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Densa - Floresta subtropical

USO ATUAL – Lavoura de Pupunha – sistema conservacionista (Área de Preservação Permanente).

DESCRITO E COLETADO POR: L. S. O. P. Paes

RAÍZES – fina e pouca nos horizontes A; AB e B.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

A 0 – 5 cm; bruno amarelado escuro (10 YR 4/6 úmido); franco argilosiltosa; moderada média; blocos subangulares; friável; plástica; ligeiramente pegajoso; transição irregular e difusa.

AB 5 – 20 cm; bruno amarelado (10 YR 5/6, úmido); franco argilosiltosa; moderada pequena; blocos subangulares; friável; plástica; pegajoso; transição plana e clara.

B 20 – 30 cm; bruno amarelado (10YR 5/8 úmido); argilosiltosa; moderada pequena; blocos subangulares; friável; plástica; pegajosa; transição plana e clara.

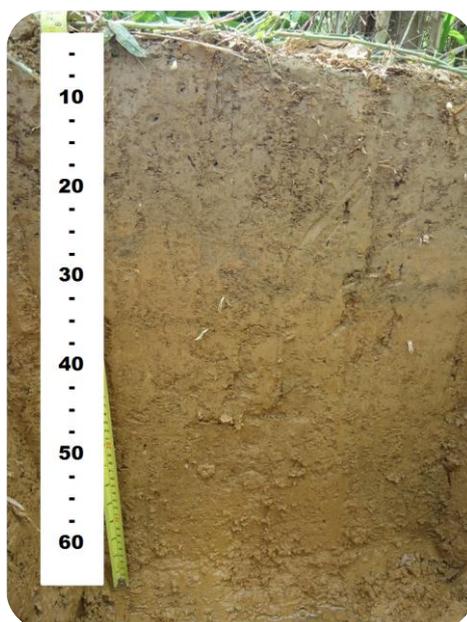
Bc 30+ cm; bruno amarelado (10YR 5/8 úmido); argilosiltosa; moderada pequena; blocos subangulares; friável; plástica; pegajosa; transição plana e clara.

Observações:

- 0 a 25 cm presença de raízes 0,5 cm diâmetro. A 53 cm encontra-se o lençol freático.
- Perfil descrito e coletado em trincheira de 90 cm de profundidade.
- Perfil descrito na lavoura de pupunha; em dia ensolarado;
- Horizonte superficial depositado por atividade antropogênica;

Horizontes	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia Total g kg ⁻¹	Classe textural	Cor úmido	Cor seco
A	337,5	512,5	150	Franco argilosiltosa	10 YR 4/6	2,5 YR 6/6
AB	337,5	525	137,5	Franco argilosiltosa	10YR 5/6	2,5 YR 7/6
B	400	537,5	62,5	Argilosiltosa	10YR 5/8	2,5 YR 7/6
Bc	437,5	525	37,5	Argilosiltosa	10 YR 5/8	2,6 YR 6/6

Horizontes	pH CaCl ₂	índice SMP	Al ⁺³	Al+H	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P disponível	C	SB	T	V%
			----- cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³			
A	5,07	6,07	1,11	5	5,7	3	0,5	15,9	15,3	9,2	14,2	64
AB	5,03	6,1	0,13	4,6	5,6	2,8	0,15	7,7	12,4	8,55	13,15	65
B	4,29	5,9	1,35	5,4	1,6	0,9	0,04	1,6	2,4	2,54	7,94	32
Bc	4,21	5,73	1,52	6,2	1,2	0,7	0,03	2,2	14,3	1,93	8,13	24



DESCRIÇÃO GERAL – Sistema Floresta

DATA – 08/04/2014

CLASSIFICAÇÃO – CAMBISSOLO Háplico Tb distrófico típico

LOCALIZAÇÃO; MUNICÍPIO; ESTADO E COORDENADAS – Propriedade Rural do Sr. Paulo Marceluk. Bairro: Cachoeira; Município de Antonina – PR;

SITUAÇÃO; DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Plano / suave ondulado; 3 a 8%.

ALTITUDE – 52 metros.

LITOLOGIA; UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Sedimentos do Haloceno quaternário (argissolo).

MATERIAL ORIGINÁRIO – produto de decomposição das rochas Sedimentos do Haloceno quaternário (argissolo).

PEDREGOSIDADE – não pedregosa.

ROCHOSIDADE – não rochosa.

RELEVO LOCAL – plano.

RELEVO REGIONAL – suave ondulado.

EROSÃO – laminar.

DRENAGEM – Moderadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta Ombrófila Densa - Floresta subtropical

USO ATUAL – Floresta nativa, mata ciliar (Área de Preservação Permanente).

DESCRITO E COLETADO POR: L. S. O. P. Paes

RAÍZES – fina, muita nos horizontes Ap; AB e B; grossa e pouca no horizonte Bc.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 5 cm; bruno (7,5 YR 4/4 úmido); franco; moderada media; blocos subangulares; friável; plástica; ligeiramente pegajosa; transição irregular e difusa.

AB 5 – 20 cm; bruno (7,5 YR 5/4 úmido); franco siltosa; moderada pequena; blocos subangulares; friável; plástica; pegajosa; transição plana e clara.

B 20 – 30 cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/6 úmido); franco siltosa; moderada pequena; blocos subangulares; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

Bc 30 - 90+ cm; bruno amarelado escuro (10YR 4/6 úmido); franco; moderada pequena; granular a blocos subangulares; muito friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Observações:

- Perfil descrito e coletado em trincheira de 100 cm de profundidade.
- Perfil descrito na mata ciliar; em dia ensolarado;
- Horizonte superficial depositado de serapilheira;

Horizontes	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia Total g kg ⁻¹	Classe textural	Cor úmido	Cor seco
Ap	150	475	375	Franco	7,5YR 4/4	2,5 YR 6/4
AB	137,5	500	362,5	Franco siltosa	7,5 YR 5/4	2,5 YR 6/6
B	137,5	500	362,5	Franco siltosa	10YR 4/6	2,5 YR 6/6
Bc	150	487,5	362,5	Franco	10 YR 4/6	2,5 YR 6/6

Horizontes	pH CaCl ₂	índice SMP	Al ⁺³	Al+H	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P disponível mg dm ⁻³	C g dm ⁻³	SB	T	V %
Ap	4,34	5,8	0,45	5,8	2,5	1,8	0,08	5,5	14,3	4,38	10,18	43
AB	4	5,66	1,38	6,7	1,2	0,7	0,04	4,7	18,2	1,94	8,64	22
B	3,97	5,62	1,75	9	0,9	0,4	0,03	3,5	6,9	1,33	10,33	13
Bc	3,97	5,76	1,71	5,8	0,8	0,3	0,03	3,2	3,3	1,13	6,93	16

