

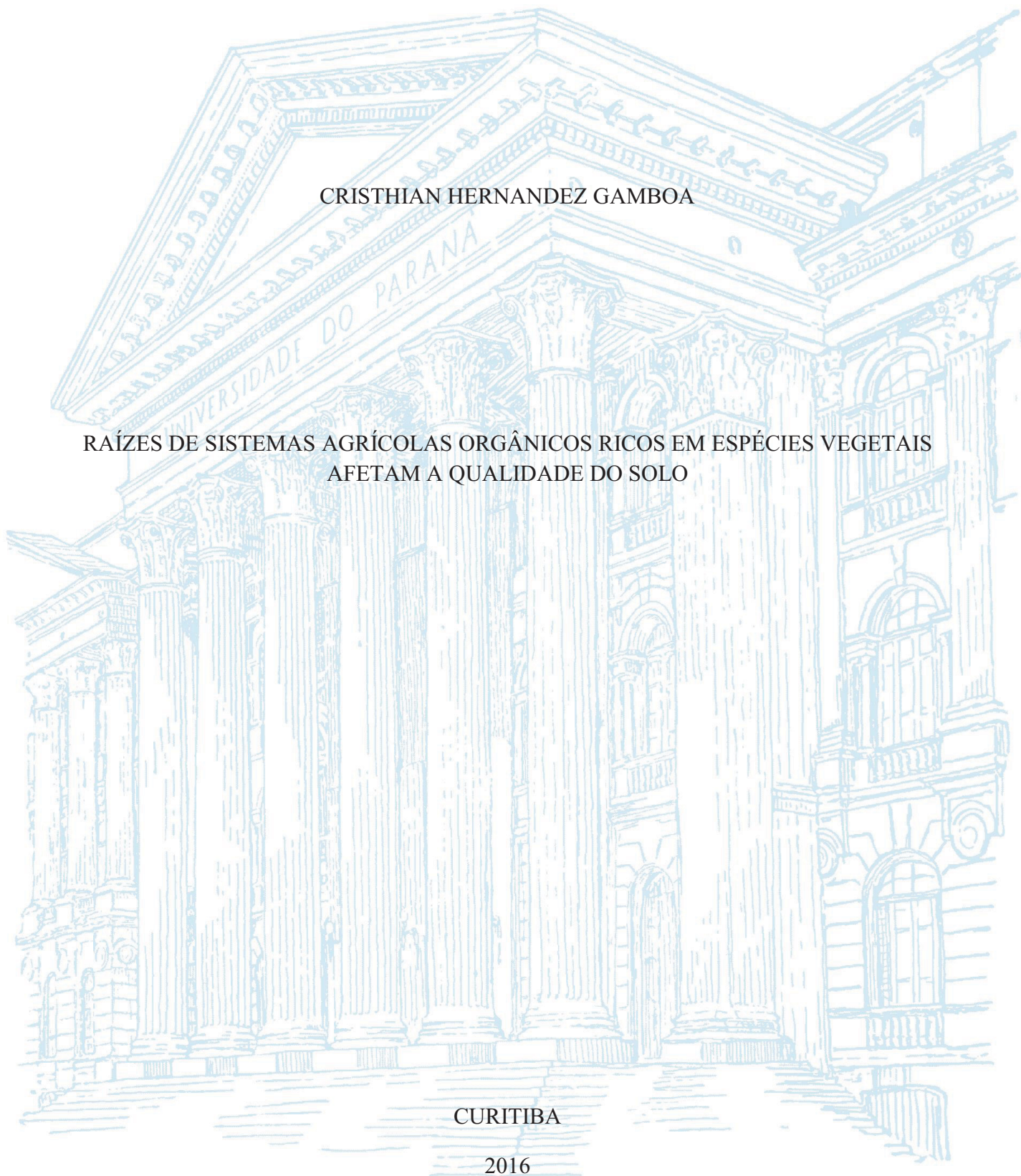
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CRISTHIAN HERNANDEZ GAMBOA

RAÍZES DE SISTEMAS AGRÍCOLAS ORGÂNICOS RICOS EM ESPÉCIES VEGETAIS
AFETAM A QUALIDADE DO SOLO

CURITIBA

2016



CRISTHIAN HERNANDEZ GAMBOA

RAÍZES DE SISTEMAS AGRÍCOLAS ORGÂNICOS RICOS EM ESPÉCIES VEGETAIS
AFETAM A QUALIDADE DO SOLO

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

Orientadora: Prof.^a Dra. Fabiane Machado Vezzani

Co-orientadores: Dr. Prof.^a Dr.^a. Nerilde Favaretto

Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima

Prof.^a Dr.^a. Glaciela Kaschuk

CURITIBA

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR -
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, DOUGLAS ALEX JANKOSKI CRB 9 /1167
COM OS DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Hernandez Gamboa, Cristhian
H557 Raízes de sistemas agrícolas orgânicos ricos em espécies
vegetais afetam a qualidade do solo / Cristhian Hernandez Gamboa.
- Curitiba, 2016.
72 f. : il., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo.

Orientadora: Fabiane Machado Vezzani
Coorientadora: Nerilde Favaretto

1. Cultivo consorciado. 2. Físico-química do solo. I. Vezzani,
Fabiane Machado. II. Favaretto, Nerilde. III Título. IV. Universidade
Federal do Paraná.

CDU 631.584



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **CRISTHIAN HERNANDEZ GAMBOA**, intitulada: "**Raízes de sistemas agrícolas orgânicos ricos em espécies vegetais afetam a Qualidade do Solo**", 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, 29 de fevereiro de 2016.

Prof. Dra. Fabiane Machado Vezzani, Presidente

Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição, Iº. Examinador

Prof. Dra. Nerilde Favaretto, IIº. Examinador

Prof. Dra. Glaciela Kaschuk, IIIº. Examinador

DEDICO

A Deus pela vida, e a possibilidade de fazer realidade meus sonhos.

A minha família: pais, irmãos, sobrinhos tios e primos pela motivação constante a seguir percorrendo caminhos.

A minha namorada Jeidi pelo seu amor infinito, por ter sonhado antes que eu este mestrado.

A família da minha namorada, seus pais, irmãos, avós e tios por estar presentes sempre na consolidação deste logro.

A meu caro professor de solos Francisco Garcia, por ter despertado em mim a curiosidade pelo estudo do solo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, e por me conceder a oportunidade de estudar no Brasil.

Aos meus pais, Calixta Gamboa e Jesús Hernandez, aos meus irmãos Israel, Jannet, Ludy e Vicente, pelo apoio e orações.

Ao amor da minha vida, Jeidi Galeano, pelo amor, ajuda incondicional e companhia.

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo pela oportunidade de estudar e pesquisar;

A minha orientadora, Prof.^a Dra. Fabiane Machado Vezzani, por me ensinar a compreender a funcionalidade do solo, por ter me guiado neste projeto, pela confiança, por me acompanhar nesta experiência de vida acadêmica, de formação profissional e pessoal.

Aos meus co-orientadores, Prof.^a Dr.^a Nerilde Favaretto, Prof. Dr. Marcelo Ricardo de Lima e Prof.^a Dr.^a Glaciela Kaschuk, pelo auxílio, sugestões, valiosas contribuições, ensinamentos e conselhos durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus estagiários e amigos, Guilherme Alex da Costa, Valdeci Antônio dos Santos, Daniel Marcelino dos Santos, Delane Rosa, Rafaela Strapasson, Pierre e Hugo (Franceses) e Jessica pelo apoio constante durante a pesquisa.

A meus colegas e amigos: João Augusto Coblinski, Gilson Walmor Dahmer, Michele e Mirele Trombini pela ajuda nos momentos de trabalho forte.

Aos funcionários e trabalhadores da Fazenda Cangüiri, especialmente Altair, Nelson e Lorival, Marcio e Dirceu, aos trabalhadores da marcenaria, oficina e almoxarifado por toda a ajuda e cooperação que permitiu o sucesso desta experimentação.

Aos técnicos e professores dos laboratórios de biologia, física, biogeoquímica fertilidade, e de nutrição de plantas do departamento de solos, ao laboratório de fitotecnia do departamento de produção vegetal pelo auxílio e entendimento das análises realizadas.

Ao CNPq pela concessão da bolsa.

*“Sabemos mais sobre o movimento
dos corpos celestes do que sobre o
solo sob os nossos pés”*

Leonardo da Vinci

RESUMO

As culturas consorciadas aproveitam recursos acima e abaixo do solo. A arquitetura, a distribuição e a riqueza de sistemas radiculares nos consórcios beneficiam o funcionamento do solo, pois favorecem microrganismos, a formação da estrutura e melhoram atributos químicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da riqueza de espécies agrícolas conduzidas sob manejo orgânico no desenvolvimento das raízes e sua influência em atributos biológicos, físicos e químicos do solo por meio do Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ sigla em inglês) e determinar seus efeitos na produtividade dos sistemas de cultura. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Cangüiri da UFPR num Cambissolo, sob delineamento experimental fatorial com sete tratamentos e duas épocas de avaliação (35 e 94 dias após germinação das culturas [DAG]), em quatro blocos. Avaliou-se três culturas: feijão (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea maiz*) e berinjela (*Solanum melongena*), estabelecidas em sete tratamentos: feijão [F]; milho [M]; berinjela [B]; milho e feijão [MF]; milho e berinjela [MB]; feijão e berinjela [FB]; milho, feijão e berinjela [MFB]. Avaliou-se a produtividade das culturas, o uso eficiente da terra dos consórcios (LER) e o índice de agressividade das culturas quando consorciadas. Amostras de raízes e de solo na camada de 0-10 cm foram coletadas, no ponto central da entrelinha das culturas. Avaliaram-se atributos de raiz: massa seca (Msr), densidade (Der), área superficial (Asr), comprimento (Comp) e densidade linear radicular (DLR); atributos microbiológicos: biomassa microbiana (BMS), quociente microbiano (qMic), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO₂); carbono orgânico total do solo (COT); atributos físicos: proporção de agregados em úmido e seco nas classes de 8-2mm, 2-0,250 mm; 0,250-0,053mm e > 0,053mm; diâmetro médio ponderado (DMP) em úmido e seco; índice de estabilidade de agregados (IEA); e atributos químicos relacionados com a fertilidade do solo. O crescimento e a produtividade por planta de milho e de feijão não foram reduzidos pela presença de outras culturas nos consórcios, o contrário ocorreu com berinjela. A maior riqueza de espécies vegetais em consórcio (MFB) resultou em aumento da produtividade por área (LER = 1,6) em relação às monoculturas; milho foi a espécie dominante sob feijão e berinjela acima do solo, com maior índice de agressividade nos sistemas MF, BM, MFB. No solo, a riqueza de espécies agrícolas não afetou os atributos de raiz, sendo afetados pela época de avaliação em todos os sistemas de cultura, salvo o F. Correlacionaram-se positivamente raízes, BMS, qMic e RBS, e negativamente raízes, COT e atributos químicos. Aos 94 DAG as concentrações de COT, P, Ca⁺², Mg⁺² e K⁺² diminuíram com o aumento dos atributos de raiz. As proporções de macroagregados nas classes 8-2 mm

em seco e 2-0,250 mm em úmido e o DMPs foram influenciadas pela atividade de raízes e microrganismos. O GISQ forneceu uma avaliação integral do conjunto de atributos estudados e definiu sua contribuição na qualidade do solo na ordem: química > biologia > raiz > física, priorizando a função do solo de fornecer nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Os sistemas com maior qualidade do solo na escala de 0,1 e 1,0 foram M com 1,0, MB com 0,8 e MFB com 0,7. Concluiu-se que não houve influência da riqueza de espécies vegetais no aumento dos atributos de raiz, mas as raízes afetaram a dinâmica dos atributos biológicos, físicos e químicos do solo. O consorcio de três espécies é 60% mais eficiente no uso da terra em relação as monoculturas.

Palavras-chave: consórcios, efeito priming, GISQ, raízes, milho, feijão, berinjela.

ABSTRACT

The intercropping advantage resources above and below in the ground. The architecture, distribution and the richness of root systems in the intercropping can benefit the soil functionality by favourable conditions for microorganisms, soil structure formation and improved chemical attributes the soil. The current study was aimed at evaluate the effect of the richness of agricultural species on organic management in the development of roots and their influence on biological, physical and chemical attributes of soil, through the general indicator of soil quality (GISQ) and determine the effects the richness of agricultural species on productivity of culture systems. The experiment was carried in the experimental Cangüiri Farm of the UFPR in a Cambisol (FAO-WRB) in a factorial design with seven treatments and two evaluation periods at 35 and 94 days after crop germination (DAG), in four blocks. Evaluating three crops: bean (*Phaseolus vulgaris*), maize (*Zea maiz*), and egg-plant (*Solanum melongena*), planting in seven treatments: bean [B]; maize [M]; egg-plant [E]; maize and bean [MB]; maize and egg-plant [ME]; bean and egg-plant [BE]; maize, bean and egg-plant [MBE]. Crop productivity was availed and land equivalent ratio (LER) and aggressivity indexes in the intercropping were calculated. Root and soil samples were collected at the depth 0-10 cm in the interrow crops. The root attributes availed were: dry weight (Msr), density (Der), surface area (Asr), length (Comp) and root linear density (DLR); The biological attributes of soil were: microbial biomass (BMS), microbial quotient (qMic), basal soil respiration (BSR), metabolic quotient (qCO₂); carbon organic soil (COT). The physical attributes of soil were: proportion of aggregates class in wet and dry in of 8-2mm, 2-0,250 mm, 0,250-0,053mm e > 0,053mm, mean weight diameter in wet and dry and aggregate stability index (IEA); and chemical attributes associated to soil fertility. The growth and productivity per plant of maize and bean is not reduced by the presence of other crops in the intercropping, but egg-plant was affected. The increase rich the crops in intercropping (MBE) resulted in increase of the productivity per area (LER = 1.6) in regarding at the monocultures. Maize was dominant on bean and egg-plant above at the soil, whit greater aggressivity indexes in the intercropping's. In the soil, the richness vegetal species did not affect the attributes of the root, however, between evaluation periods was detected increase in attributes of roots in culture systems with lower and higher species richness, except F systems. There was a positive relationship between roots, BMS qMic and BSR, and a negative relationship between roots, COT and chemical properties. The concentrations of COT, P, Ca⁺², Mg⁺² and K⁺¹ decreased with the increase of the root attributes to 94 DAG. The proportion of

aggregates classes 8-2 mm in dry and 2-0.250 mm in wet and DMPs were influenced by positive relationship of microbial biomass and roots. The GISQ showed a comprehensive evaluation of all attributes and defined your contribution on soil quality in the following order: Chemistry > biology > root > physics, prioritizing the soil function to provide nutrients to plant development. The systems with higher quality determined by GISQ were with 1.0 M followed by the ME system with MBE 0.8 and 0.7. There were not influence of the richness agriculture species in the root attributes but the roots affected the dynamics of soil biological, physical and chemical attributes. Intercropping with three species is 60% more efficient in terms of land use in regarding at the monocultures.

Keywords: intercropping, priming effect, GISQ, roots, maize, bean, egg-plant.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Ortofoto da Fazenda Experimental Cangüiri indicando a área do experimento, município de Pinhais,	5
FIGURA 2. Representação da área experimental, arranjo dos tratamentos e pontos de amostragem de acordo com o tratamento.	7
FIGURA 3. Amostragem de raízes. Coleta com trado (A), lavagem (B), secagem (C) e análise de raízes pelo software WinRhizo® (D)..	12
FIGURA 4. Coeficiente de agressividade das culturas nos consórcios.....	20
FIGURA 5. Análise de Componentes Principais dos subindicadores de qualidade do solo para os conjuntos de atributos de raiz (RAIZ), biológicos (BIOL), físicos (FISIC) e químicos (QUIM).....	24
FIGURA 6. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos de raiz.....	27
FIGURA 7. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos biológicos do solo.	30
FIGURA 8. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos físicos do solo	32
FIGURA 9. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos químicos do solo	34
FIGURA 10. Análise de Componentes Principais dos conjuntos de atributos de raízes, biológicos, físicos e químicos do solo	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Características químicas do solo na camada 0-20 cm de profundidade três meses antes da implementação do experimento. Pinhais, PR, 2014.	6
TABELA 2. Massa seca da parte aérea das culturas nos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).	19
TABELA 3. Produção de grãos e frutos das culturas nos sistemas de culturas sob manejo orgânico.	21
TABELA 4. Produtividade e uso eficiente da terra (LER) das culturas (LER _p) e dos consórcios (LER _T), nos sistemas de culturas sob manejo orgânico.	21
TABELA 5. Receita bruta gerada pela venda da produção das culturas nos sistemas de culturas sob manejo orgânico.	22
TABELA 6. Valores dos subindicadores do indicador de qualidade do solo (GISQ) para os sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após a germinação (DAG).	23
TABELA 7. Contribuição dos subindicadores (sb) aos Componentes 1 e 2 da ACP e determinação dos pesos de cada subindicador para definir o Índice Geral de Qualidade do solo – GISQ, segundo metodologia de Velazques et al. (2007).	25
TABELA 8. Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ) aos 35 e 94 dias após a germinação (DAG) para os sistemas de cultura sob manejo orgânico.	25
TABELA 9. Densidade da raiz (Der), Massa seca de raiz (Msr), Área superficial radicular (Asr), Comprimento (Comp), Densidade linear radicular (DLR), Densidade específica radicular (SLR), dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).	28
TABELA 10. Carbono da biomassa Microbiana (BMS, mg C kg ⁻¹); quociente microbiano (qMic, %); respiração basal do solo (RBS, mg C kg ⁻¹ de mss h ⁻¹); quociente metabólico qCO ₂ , (mg C-CO ₂ mg ⁻¹ C BMS h ⁻¹); carbono orgânico total do solo (COT, g dm ⁻³); nos sistemas de cultura sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).	29

TABELA 11. pH, Fósforo (P), Alumínio (Al^{+3}), Cálcio (Ca^{+2}), Magnésio (Mg^{+2}) e Potássio (K^{+}), do solo nos sistemas de culturas sob manejo orgânico, media das duas épocas de avaliação.33

TABELA 12. Correlação pairwise entre atributos de raízes, biológicos, físicos e químicos do solo de sistemas de culturas sob manejo orgânico.37

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1. Resume ANOVA aplicado ao conjunto de atributos de raiz, biológicos, físicos e químicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos (trat) sob manejo orgânico como fator I e épocas de avaliação (Col) aos 35 e 94 DAG como fator II, e interação (Inter) entre fatores.	55
APÊNDICE 2. ANOVA para os valores médios dos atributos de raiz, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2).	56
APÊNDICE 3. ANOVA para os valores médios dos atributos biológicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2).	57
APÊNDICE 4. ANOVA para os valores médios dos atributos físicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2).	57
APÊNDICE 5 ANOVA para os valores médios dos atributos químicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2).	58
APÊNDICE 6. ANOVA para os valores médios da massa seca da parte aérea das culturas de feijão, milho e berinjela nos sistemas de cultura (trat) sob manejo orgânico em análise em blocos ao acaso, para cada época de avaliação aos 35 e 94 dias após germinação das culturas DAG.	59
APÊNDICE 7. ANOVA para os valores médios da produção de massa seca (g) de grãos	59
APÊNDICE 8. Produção de massa seca (g) de grãos de feijão e milho e frutos frescos de berinjela, nos sistemas de cultura sob manejo orgânico.	60
APÊNDICE 9. Produção de massa seca (g planta ⁻¹) da parte aérea de feijão, milho e berinjela, nos sistemas de cultura sob manejo orgânico para cada época de avaliação aos 35 e 94 dias após germinação das culturas- DAG.	60

APÊNDICE 10. Atributos de raiz: Massa seca de raiz (Msr, g); Densidade da raiz (Der, g m⁻³); Área superficial radicular (Asr, cm²); Comprimento (Comp, cm); Densidade linear radicular (DLR, cm cm⁻³); Densidade específica radicular (SLR, cm g⁻¹), dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).61

APÊNDICE 11. Atributos biológicos do solo: Respiração basal do solo (RBS, mg C kg⁻¹ de mss h⁻¹); Biomassa Microbiana (BMS, mg C kg⁻¹); Carbono Orgânico Total do Solo (COT, g dm⁻³); Quociente microbiano (qMic, %); Quociente metabólico qCO₂, (mg C-CO₂ mg⁻¹ C BMS h⁻¹); dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG). 62

APÊNDICE 12. Atributos físicos do solo: fração de agregados em seco na classe de 8 -2 mm; fração de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm); fração de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); fração de agregados em seco na classe de < 0,053 mm (< 0,053S); Índice de estabilidade de agregados (IEA); dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).64

APÊNDICE 13. Atributos físicos do solo: fração de agregados em úmido na classe de 8 -2 mm; fração de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm); fração de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); fração de agregados em seco na classe de < 0,053 mm (< 0,053S); Diâmetro médio ponderado seco (DMPs), Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu mm) Índice de estabilidade de agregados (IEA); dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG). 66

APÊNDICE 14. Atributos químicos do solo: pH (CaCl₂); Fósforo (P, mg dm⁻³); Alumínio (Al⁺³, cmol_c dm⁻³); Cálcio (Ca⁺², cmol_c dm⁻³); Magnésio (Mg⁺², cmol_c dm⁻³) e Potássio (K⁺, cmol_c dm⁻³) dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG)68

APÊNDICE 15. Inercia das duas componentes principais C 1 e C 2 que explicam o 71,16% e 25,8% da variabilidade dos dados dos atributos de raiz, e o 47,78% e 31,55% da variabilidade dos dados dos atributos biológicos do solo dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).69

APÊNDICE 16. Inercia das duas componentes principais C 1 e C 2 que explicam o 56,65% e 21,06% da variabilidade dos dados dos atributos físicos do solo, e o 62,72% e 15,64% da variabilidade dos dados dos atributos químicos do solo, dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG). 70

APÊNDICE 17. Correlação de pairwise entre o conjunto de atributos de raíz, biológicos, físicos e químicos do solo, nos sistemas de culturas sob manejo orgânico..... 71

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Índice de agressividade
A2S	Proporção de agregados em seco na classe de 8 -2mm
A0,25S	Proporção de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm
A0,053S	Proporção de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm
A<0,053S	Proporção de agregados em seco na classe de < 0,053 mm
A2U	Proporção de agregados em úmido na classe de 8 -2mm
A0,25U	Proporção de agregados em úmido na classe de 2-0,250 mm
A0,053U	Proporção de agregados em úmido na classe de 0,250-0,053 mm
A<0,053U	Proporção de agregados em úmido na classe de < 0,053 mm
ACP	Análise de componentes principais
Aab	Agressividade da cultura A em consórcio com a cultura B
Al ⁺³	Cátion alumínio trocável
APA	Área de Preservação Ambiental
Asr	Área superficial de raízes
B	Berinjela em monocultura
BM	Berinjela e milho em consórcio
BIOL	Subindicador GISIQ de atributos biológicos
Ca ⁺²	Cátion trocável de Cálcio
Ca/Mg	Relação cálcio magnésio do solo
BMS	Carbono da biomassa microbiana do solo
Col ⁰	Coleta de amostras antes do início do experimento
COT	Carbono orgânico total
Comp	Comprimento de raízes
CTC	Capacidade de troca catiônica
CV	Coefficiente de variação
DAG	Dias Após Germinação
Der	Densidade de raiz
DLR	Densidade linear de raízes
DMPu	Diâmetro médio ponderado úmido
DMPs	Diâmetro médio ponderado seco
GISQ	Índice Geral de Qualidade do Solo
SLR	Densidade específica de raízes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
F	Feijão em monocultura
FB	Feijão e berinjela em consórcio
FISIC	Subindicador GISQ de atributos físicos
(H ⁰ + Al ³⁺)	Acidez potencial
K ⁺¹	Cátion trocável de potássio
LER	Eficiência no uso da terra
LER _T	Eficiência no uso da terra total dos consórcios
LER _P	Eficiência no uso da terra parcial das culturas nos consórcios
M	Milho em monocultura
MF	Milho e feijão em consórcio
MFB	Milho, feijão e berinjela em consórcio
Mg ⁺²	Cátion trocável de magnésio
Msr	Masa seca total de raiz

MF	Consortio milho feijão
MO	Matéria orgânica
ns	Não significativo
P	Fósforo disponível
QUIM	Subindicador GISQ de atributos químicos do solo
qCO_2	Quociente metabólico
$qMic$	Quociente microbiano
pH	Acidez ou basicidade do solo
RBS	Respiração basal do solo
SB	Soma de bases
T	Capacidade de troca catiônica ($S + (H^0 + Al^{3+})$)
UFPR	Universidade Federal do Paraná
V	Saturação de bases
Yaa	Rendimento da cultura A em monocultura
Yab	Rendimento da cultura A em consórcio com a cultura B
Ybb	Rendimento da cultura B em monocultura
Yba	Rendimento em $kg\ ha^{-1}$ da cultura A em monocultura
Zab	Proporção da cultura A no consórcio com B
Zba	Proporção da cultura B no consórcio com A

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	MATERIAL E MÉTODOS	5
2.1.	ÁREA DE ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO	5
2.2.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO	6
2.3.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	6
2.4.	ARRANJO DOS SISTEMAS DE CULTURA	6
2.5.	MANEJO DOS SISTEMAS DE CULTURAS	8
2.6.	PONTOS DE AMOSTRAGEM	8
2.7.	ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO	9
2.8.	ATRIBUTOS AVALIADOS	9
2.8.1.	Atributos da matéria vegetal das culturas e das plantas espontâneas	9
2.8.2.	Produtividade das culturas	9
2.8.3.	Uso eficiente da terra nos sistemas de cultura sob manejo orgânico	10
2.8.4.	Atributos da matéria vegetal de raízes	11
2.8.4.1.	Processamento de amostras de raízes	11
2.8.5.	Atributos biológicos do solo	12
2.8.5.1.	Carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) pelo substrato induzido	13
2.8.5.2.	Respiração basal do solo (RBS)	13
2.8.5.3.	Quociente microbiano - q_{Mic}	14
2.8.5.4.	Quociente metabólico - qCO_2	14
2.8.6.	Atributos físicos do solo	14
2.8.6.1.	Distribuição de agregados estáveis em seco em classes de tamanho e diâmetro médio ponderado via seco (DMPs)	15
2.8.6.2.	Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho e diâmetro médio ponderado via úmido (DMPu)	15
2.8.6.3.	Índice de estabilidade de agregados - IEA	15
2.8.7.	Atributos químicos do solo	16
2.9.	ÍNDICADOR GERAL DE QUALIDADE DO SOLO – GISQ	16
2.10.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	17
3.	RESULTADOS	19
3.1.	PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO	19
3.1.1.	Produção de matéria vegetal da parte aérea	19
3.1.2.	Índice de agressividade das culturas	19
3.1.3.	Índice de uso eficiente da terra -ler e receita bruta dos sistemas de cultura sob manejo orgânico	20
3.2.	ÍNDICADOR GERAL DE QUALIDADE DO SOLO (GISQ) NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO	23
3.3.	ATRIBUTOS DE RAIZ NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR RAIZ DO GISQ	26
3.4.	ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR BIOL DO GISQ	29
3.5.	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR FISIC DO GISQ	31
3.6.	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE CULTURAS	

SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR QUIM DO GISQ	32
3.7. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E CORRELAÇÃO DE GRUPOS PAREADOS <i>PAIRWISE</i> DOS ATRIBUTOS DE RAIZES E SOLO DE SISTEMAS DE CULTURA SOB MENEJO ORGÂNICO	35
4. DISCUSSÃO	38
4.1. PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO.....	38
4.2. QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO.....	40
5. CONCLUSÕES	47
6. LITERATURA CITADA	48
7. APÊNDICES	55
8. BIOGRAFIA DO AUTOR	72

INTRODUÇÃO

Os cultivos em consórcio são sistemas de produção simultânea de duas ou mais culturas na mesma área e num determinado período de tempo (Leihner, 1983; Hauggaard-Nielsen e Jensen, 2005). Estes sistemas de produção são comuns nos países da África, da Ásia e das regiões tropicais da América Latina, gerando mais de 40 % da mandioca 60 % do milho e 80 % do feijão produzidos nestas regiões (Liebman, 1999).

Os arranjos dos consórcios estão baseados na gestão das interações de espécies diferentes para maximizar o crescimento, a produtividade das culturas e a eficiência no uso da terra pelo consórcio (Leihner, 1983; Hauggaard-Nielsen e Jensen, 2005). Estas interações podem ser tanto de competição quanto de facilitação (Callaway, 1995). Na competição, algumas plantas apresentam reduções de recursos como nutrientes, água, luz e espaço, causadas pelo efeito das outras, gerando dominância entre as culturas e reduções na produtividade (Willey, 1979). Na facilitação, as plantas melhoram o ambiente de seus vizinhos e aumentam o crescimento e a sobrevivência (Callaway, 1995; Schenk, 2006).

Nas culturas consorciadas, os processos de facilitação das espécies diferentes estariam associados com um maior aproveitamento espacial de recursos como luz, água, e nutrientes (Liebman, 1999; Zhang e Li, 2003; Wacker et al., 2009). Isto é gerado pela complementariedade dos nichos ecológicos, que envolve a partilha e a facilitação de recursos (Loreau e Hector, 2001; Hauggaard-Nielsen e Jensen, 2005; Schenk, 2006).

Acima do solo, os consórcios interceptam mais luz que os monocultivos pelo aumento na área foliar e sua posição nos diferentes estratos de luz (Wacker et al., 2009). Embaixo, no solo, a complementariedade está influenciada pela riqueza, arquitetura e distribuição das raízes, que aumentam a eficiência na exploração e a repartição de recursos, as interações com microrganismos, favorecendo a disponibilidade de nutrientes, a umidade e a oxigenação no solo (Hauggaard-Nielsen e Jensen, 2005; Postma e Lynch, 2012).

A heterogeneidade do solo na distribuição de nutrientes e água tem sido também estudada como outro fator que influencia o comportamento das raízes em sistemas consorciados (Schenk, 2006). Solos com baixos níveis de fertilidade favorecem as interações de facilitação e complementariedade entre as raízes, e solos com alta fertilidade promovem a competição entre elas por espaço e nutrientes (Day et al., 2003; Schenk, 2006).

Na relação solo-planta nos consórcios, as raízes representam um elemento ativo na modificação dos atributos do meio, pois afetam diretamente as populações microbianas e as propriedades físico-químicas do solo (Vezzani e Mielniczuk, 2009).

Neste sentido, a arquitetura e extensão do sistema radicular no espaço representam uma das adaptações da planta à variabilidade espaço-temporal dos recursos no solo (Hodge et al., 2009), que garante maior eficiência no desempenho de suas funções, como absorver água e nutrientes e servir como nicho ecológico para microrganismos (Lynch, 1995; Hodge et al., 2009). Como exemplo desse processo, é o caso das modificações tipo *cluster* para a aquisição de nutrientes de baixa mobilidade como o fósforo (Liebman, 1999). Onde com uma maior área superficial radicular se tem maior liberação de compostos solubilizantes e garante-se a absorção dos compostos solubilizados (Shane e Lambers, 2005). Outros exemplos são o aumento do comprimento e distribuição radicular, a ramificação horizontal em profundidade, que facilitam a captação de nutrientes móveis como o nitrato e as relações com microrganismos do solo, como as micorrizas e a fixação biológica de nitrogênio nas leguminosas (McCully, 1999; Zonta et al., 2006; Xia et al., 2013). Alguns dos mecanismos que favoreceram a absorção de nutrientes em consórcios com milho, trigo e fava foram o incremento na exploração do solo em profundidade, o aumento da densidade linear radicular por volume de solo e o aumento na capacidade de exploração das raízes nas áreas de solo embaixo das outras culturas (Li e Tchelepi, 2006).

A rizodeposição de compostos elaborados pela fotossíntese são fonte de C e N para os microrganismos (Blagodatskaya et al., 2007), o que gera condições favoráveis para que a biota do solo desempenhe funções tanto de solubilização, imobilização e fixação de nutrientes, quanto processos de mineralização, humificação de compostos orgânicos e estruturação de solo (Albiach et al., 2006). Os fungos micorrízicos ligados simbioticamente a raízes tem um importante papel na captação de nutrientes, principalmente N e P presentes em compostos orgânicos associados aos minerais (Chalot e Brun, 1998; Hauggaard-Nielsen e Jensen, 2005), o que sugere que com maior riqueza de espécies e, por sua vez, maior diversidade de sistemas radiculares podem favorecer as interações com microrganismos e a exploração do solo por parte das raízes.

Além disso, os microrganismos são responsáveis pela maior produção de enzimas extracelulares, encarregadas de catalisar as reações químicas, atuando sobre substratos específicos para transformá-los, facilitando os ciclos biológicos de carbono, nitrogênio,

fósforo e enxofre (Astier et al., 2002; Rincón et al., 2005). Como exemplo, a fosfatase tem sido detectada como uma das enzimas produzidas pelas raízes das plantas e microrganismos, sob ambientes com baixa disponibilidade de fósforo (Raghothama e Karthikeyan, 2005). Com este mecanismo são favorecidos os processos de solubilização e remobilização de fosfatos, o que influencia positivamente na capacidade da planta adsorver este nutriente e a se manter em ambientes pobres em fósforo (Das e Varma, 2011).

A ação mecânica, a liberação de exsudados orgânicos e a renovação constante das raízes têm sido consideradas como responsáveis pela formação e estabilidade de agregados do solo (Harris et al., 1966; Brandão e Silva, 2012). Isso ocorre em função dos efeitos diretos na aproximação de minerais, ligação de microagregados e formação de macroagregados (Castro Filho et al., 1998; Wendling et al., 2005). Os fungos micorrizicos também participam pela ação física do micélio fúngico e pela produção de compostos como glicoproteínas que possuem efeito cimentante, unindo as partículas de solo e formando agregados estáveis (Tisdall e Oades, 1979; Gupta e Germida, 1988). A formação de agregados favorece propriedades do solo como a resistência à erosão, a infiltração e a retenção de água, a aeração e o crescimento da biota do solo (Vezzani e Mielniczuk, 2009). Portanto, sistemas com maior riqueza de espécies vegetais predominariam os processos de reorganização de atributos físicos do solo (Bare et al., 1994).

De outra parte, os atributos químicos que aportam qualidade ao solo como a disponibilidade de nutrientes, pH e os níveis de fertilidade, também são influenciados na zona de interação raiz-solo (Vallejo-Quintero, 2013). A zona de contato entre as partículas do solo e as raízes ou rizosfera é alterada pela atividade da raiz através dos exsudados. Estes atuam como mensageiros, induzindo interações biológicas, físicas e químicas entre raiz-microrganismos, raiz-solo e raiz-raiz (Walker et al., 2003; Gregory, 2006; Hinsinger et al., 2009). Na rizosfera, as raízes liberam H^+ , HCO_3^- , OH^- , CO_2 e ácidos orgânicos, causando mudanças no pH e no potencial redox, pelo consumo ou liberação de O_2 (Betencourt et al., 2012). Com a redução do pH, promove-se a solubilização de macro e micronutrientes metálicos, favorecendo a liberação de fosfato, aumentando sua disponibilidade para ser absorvido pela planta (Walker et al., 2003; Betencourt et al., 2012). Os exsudados da raiz também aumentam a solubilidade, a mobilidade e a complexação de minerais pelos efeitos quelantes (Merckx et al., 1986).

A adoção de sistemas de cultura consorciados com riqueza de espécies pode representar uma alternativa para contribuir para que o solo em condição de baixa fertilidade exerça suas funções, como resultado da ação das raízes e sua influência nos atributos do solo (White et al., 2013). Portanto, uma das hipóteses a testar neste trabalho foi que a riqueza de espécies agrícolas em sistemas de cultura em consórcio aumenta o desenvolvimento das raízes influenciando atributos biológicos, físicos e químicos do solo. Por outro lado, a riqueza das culturas nos consórcios afeta a natureza e a intensidade das interações acima do solo por processos de facilitação ou competição, o que definiu a segunda hipótese: a riqueza de espécies agrícolas aumenta a produtividade dos sistemas de cultura em consórcio. Dessa forma, determinou-se como objetivos desta pesquisa: i. avaliar o efeito de sistemas de culturas com riqueza de espécies agrícolas conduzidas sob manejo orgânico no desenvolvimento das raízes e sua influência em atributos biológicos, físicos e químicos do solo e, ii. determinar os efeitos da riqueza de espécies agrícolas na produtividade das espécies e dos sistemas de cultura. Com estes estudos visou-se contribuir na compreensão do potencial dos sistemas de cultura em consórcio como alternativa eficiente para regiões com solos que apresentam alta fragilidade, tanto pelo manejo excessivo quanto por condições naturais.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Cangüiri (CEEx) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), município de Pinhais, Paraná, Brasil, localizada na Área de Preservação Ambiental (APA) da bacia hidrográfica do rio Iraí a $25^{\circ}23'12,3''S$ de latitude, $49^{\circ}07'33,2''W$ de longitude e 920 m de altitude. (Figura 1). O clima, segundo Köppen, é classificado como temperado do tipo Cfb, mesotérmico úmido com temperatura média anual de $17^{\circ}C$, com $20,5^{\circ}C$ no mês de janeiro e $13^{\circ}C$ em julho, com uma precipitação média mensal de 1.550 mm (Alvares et al., 2013)

A área está situada no Planalto Sedimentar do Primeiro Planalto Paranaense sendo este formado por relevo suave, com vertentes de baixa declividade com amplas planícies aluviais (Bigarella e Salamuni, 1962), e o solo classificado em Cambissolo (Sugamusto, 2002).



FIGURA 1. Ortofoto da Fazenda Experimental Cangüiri indicando a área do experimento, município de Pinhais, Paraná. Fonte Nascimento et al. (2007)

2.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO ANTES DA IMPLEMENTAÇÃO DO EXPERIMENTO

Na tabela 1 consta os indicadores de fertilidade do solo três meses antes da instalação do experimento. Na camada de 0-20 cm, o solo apresentou pH muito baixo de 4,75, fósforo (P) baixo, cálcio (Ca^{+2}) alto, magnésio (Mg^{+2}) muito alto, potássio (K^{+1}) baixo, alto teor de carbono (15,7 g de C kg^{-1}) e saturação por bases (V) média, segundo as classes sugeridas por Monte Serrat et al. (2006). A classe textural foi determinada como argilosa, com 556 g de argila kg^{-1} , 169 g de silte kg^{-1} , e 275 g de areia kg^{-1} segundo Franco (1998).

TABELA 1. Características químicas do solo na camada 0-20 cm de profundidade três meses antes da implementação do experimento. Pinhais, PR, 2014.

pH CaCl_2	P	Al^{+3}	$\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$	Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	SB	T	COT	V	MO	Ca/Mg
	mg dm^{-3}$	..... \text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .....				.....			\text{g dm^{-3}	%		
5,0	3,2	0,3	8,7	5,5	2,8	0,1	8,4	17,1	15,7	49,0	2,7	2,0

Fósforo extraído por Mehlich-1 (P); alumínio trocável (Al^{+3}); Acidez potencial ($\text{H}^{+}+\text{Al}^{+3}$) soma de bases (SB); capacidade de troca catiônica (T); Carbono orgânico total (COT); saturação por bases (V); matéria orgânica(MO); relação cálcio e magnésio Ca/Mg.

2.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental foi fatorial em blocos ao acaso com quatro repetições, tendo como fatores sete tratamentos e duas épocas de avaliação.

Os tratamentos consistiram dos seguintes sistemas de culturas conduzidos sob manejo orgânico com grau crescente de riqueza de espécies: (F) monocultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*); (M) monocultura de milho (*Zea mays*); (B) monocultura de berinjela (*Solanum melongena*); (MF) consórcio de milho e feijão; (BM) consórcio de berinjela e milho; (FB) consórcio de feijão e berinjela e (MFB).consórcio de milho, feijão e berinjela.

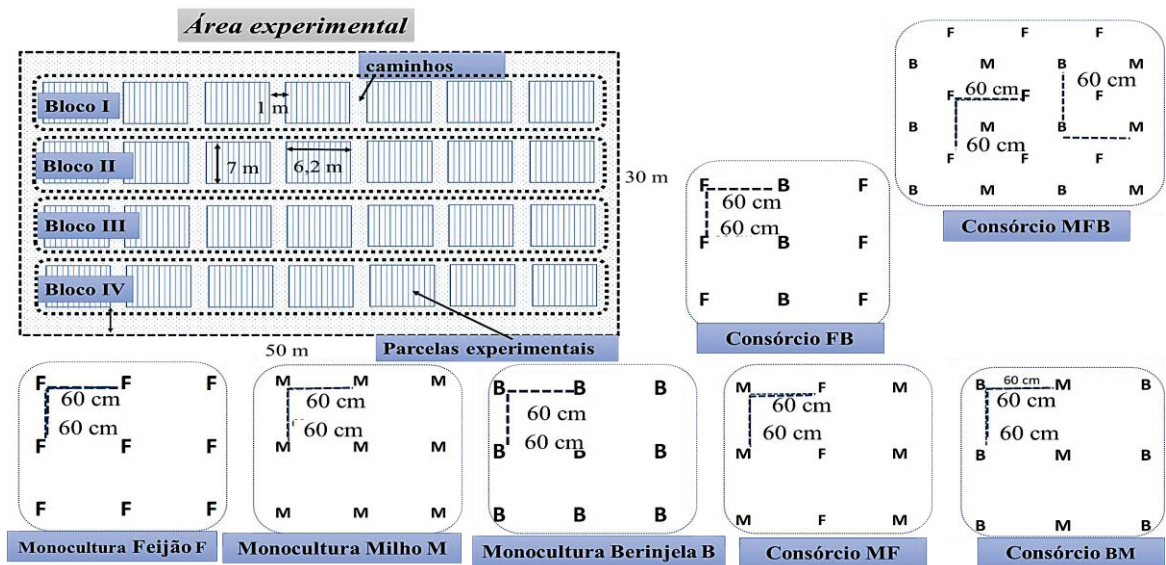
As épocas avaliadas foram: 35 e 94 Dias Após Germinação (DAG) das culturas.

2.4. ARRANJO DOS SISTEMAS DE CULTURA

Os sistemas de culturas foram estabelecidos em 28 parcelas experimentais cada uma de 43,4 m^2 com espaçamento de 1 m entre elas. Nas monoculturas (F, M, B), as culturas foram estabelecidas em linhas de cultura com distância de 60 cm entre plantas e entre linhas, perfazendo uma densidade de 27.777,8 plantas ha^{-1} . Nos consórcios de duas culturas (MF, BM, FB), intercalaram-se linhas de cada cultura, separadas 60 cm entre linhas e plantas,

totalizando 13.888,9 plantas ha⁻¹ cultura⁻¹. No consórcio de três culturas (MFB), foram estabelecidas linhas intercaladas das culturas M e B separadas 60 cm entre linhas e plantas (13.888,9 plantas ha⁻¹ cultura⁻¹) e na metade das entrelinhas foram estabelecidas linhas de F, separadas 60 cm entre linhas e plantas (27.777,8 plantas de feijão ha⁻¹) para um total de 55.555,6 plantas ha⁻¹ (Figura 2). Estes arranjos dos sistemas de culturas garantiram a avaliação da influência dos sistemas radiculares das culturas, mantendo uma única distância entre a planta e os pontos de amostragem. Os 60 cm de espaçamento foram determinados baseados no desenvolvimento radicular atingido pelas culturas aos 30 dias após germinação de acordo com Weaver (1926)

Área experimental e Arranjo de Tratamentos



Amostragem

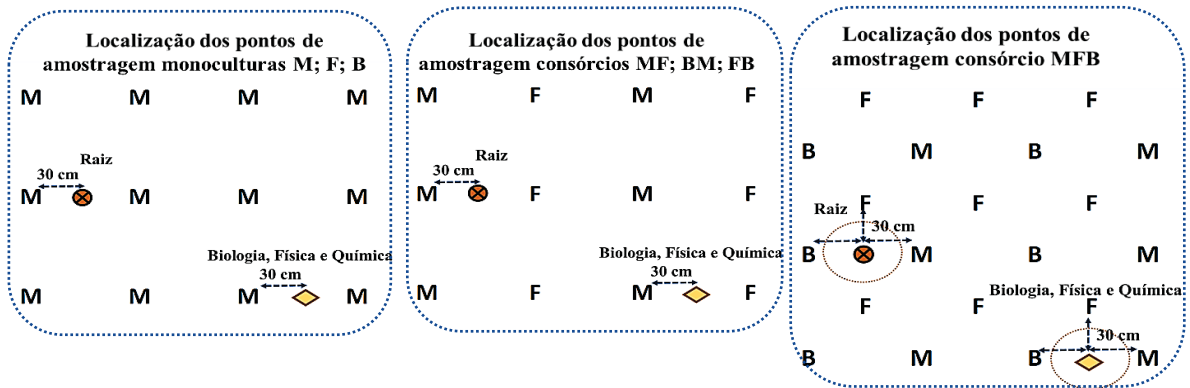


FIGURA 2. Representação da área experimental, arranjo dos tratamentos e pontos de amostragem de acordo com o tratamento.

2.5. MANEJO DOS SISTEMAS DE CULTURAS

Os sistemas de culturas foram manejados seguindo os princípios de produção orgânica, onde não foram utilizados agrotóxicos e fertilizantes de síntese química.

O milho semeado correspondeu a uma cultivar crioula procedente do centro do Paraná, as sementes de feijão foram da cultivar carioca, com hábito de crescimento indeterminado, por sua vez, para a berinjela foram produzidas mudas com a cultivar cumprida roxa (Agristar, 2016), que para o momento da implementação completaram 6 semanas após semeadura nas bandejas germinadoras. No caso do milho e do feijão foram semeadas as sementes diretamente no campo no momento da implementação.

O solo foi preparado convencionalmente com subsolagem, aração e três pasagens de grade. Durante o preparo do solo foi incorporada a cultura de inverno (aveia preta, *Avena strigosa* Schreb.) que estava presente no local. Três semanas antes do plantio foi incorporado composto orgânico a razão de 1 kg m⁻² de acordo com Oliveira et al. (2004), preparado a partir de 50 % esterco bovino, 30 % de restos vegetais e 20 % de solo de bosque, materiais obtidos na Fazenda Canguiri.

Os controles das plantas espontâneas foram feitos aos 8 e 65 DAG. O primeiro com enxada, deixando em superfície 212,3 g massa seca m⁻² e o segundo com facão, deixando em superfície 379,8 g massa seca m⁻², o material vegetal deixou-se sobre o solo como cobertura morta.

O requerimento de água para as culturas foi suprido por meio de um sistema de irrigação por aspersão portátil com uma vazão máxima de 17 m³ h⁻¹, sem que se apresentasse escoamento superficial durante a irrigação no experimento.

Durante o ciclo das culturas não foram feitos controles de pragas nem doenças, mas não houve efeitos significativos de ataque.

2.6. PONTOS DE AMOSTRAGEM

Os pontos de amostragem do solo foram determinados na metade da entrelinha, tanto nas monoculturas quanto nos consórcios (Figura 2), localizados a 30 cm do caule da cultura, permitindo avaliar a influência das culturas nos atributos do solo a serem estudados. A amostragem do solo foi dividida em dois locais por coleta, em função da quantidade de amostras necessárias para a avaliação dos atributos. Os locais de amostragem foram distribuídos aleatoriamente em cada unidade experimental, respeitado o efeito de bordadura (Figura 2).

2.7. ÉPOCAS DE AVALIAÇÃO

Foram realizadas três avaliações, a primeira (Col⁰) foi feita antes da implementação dos tratamentos, coletando amostras de solo para avaliações de atributos biológicos, físicos e químicos, que serviram como referência.

A segunda avaliação foi realizada aos 35 dias após a germinação das culturas (DAG), e terceira avaliação foi aos 94 DAG. As duas épocas de avaliação após a germinação das culturas corresponderam respectivamente para o F aos períodos de floração e de senescência; para o M aos períodos vegetativo e de desenvolvimento de grão; e para B aos períodos vegetativo e reprodutivo.

Nas coletas aos 35 e 94 DAG, foram amostrados parte aérea das plantas, raízes e solo para determinação de massa seca das culturas e das plantas espontâneas e análises dos atributos biológicos, físicos e químicos do solo. As amostras de solo para determinação dos atributos biológicos e de raízes foram conservadas em embalagens plásticas e mantidas em refrigeração a 4 °C até o momento das análises.

2.8. ATRIBUTOS AVALIADOS

2.8.1. ATRIBUTOS DA MATÉRIA VEGETAL DAS CULTURAS E DAS PLANTAS ESPONTÂNEAS

Nas avaliações aos 35 e aos 94 DAG, foram cortadas duas plantas de cada cultura em cada tratamento a 1 cm da superfície do solo, que corresponderam à planta onde foi amostrada a raiz e os atributos biológicos, físicos e químicos do solo (Figura 2). O material vegetal foi embalado e levado a secagem a 45 °C até peso constante, e determinada a massa seca.

A massa das plantas espontâneas foi amostrada por meio de um gabarito de 0,5 x 0,5 cm, em três locais distintos nas entrelinhas das culturas em cada parcela. Dois dos locais amostrados corresponderam aos pontos de coleta de parte aérea, como descrito acima, raízes e de solo para os demais atributos. O material vegetal foi embalado e levado a secagem a 45 °C para determinação de massa seca.

2.8.2. PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

Em cada parcela foram selecionadas aleatoriamente 5 plantas por cultura por tratamento e avaliados os seguintes parâmetros por planta:

F: número de vagens, número de grãos por vagem, massa seca dos grãos; M: número de espigas, massa seca dos grãos; B: número de frutos coletados em um período de dois meses a partir da coleta do primeiro fruto, massa fresca dos frutos.

Com os valores de massa seca de grãos e massa fresca dos frutos foi determinada a produção por planta. Com o número de plantas por tratamento foi estimado o rendimento da cultura por hectare segundo o sistema de cultura (monocultura ou consórcio).

Os preços de venda do feijão em saco de 60 kg entre 2004/05 até 2015/12 foram obtidos no portal AGROLINK (2015) e o valor médio de venda foi calculado em R\$ 83,80 por cada saco. Para o milho, foi obtido o preço de venda de saco de 60 kg de grão seco entre 2009/01 e 2015/12 no portal AGROLINK (2015) e o valor médio calculado em R\$ 19,80 por cada saco. Para a berinjela, o preço médio mensal no varejo do kg de produto fresco entre 2005/11 a 2015/11 foi obtido em IEA/CATI (2015) e o valor médio de venda calculado foi R\$ 2,30 kg⁻¹. Com os valores de venda estimou-se o valor de produto em R\$ kg⁻¹ e junto com a produção de cada cultura foi estimada a Receita Bruta de cada sistema de cultura por hectare.

2.8.3. USO EFICIENTE DA TERRA NOS SISTEMAS DE CULTURA SOB MANEJO ORGÂNICO

O uso eficiente da terra nos sistema de cultura em consórcio foi calculada pela Relação da Área Equivalente LER, sigla em inglês de Land Equivalent Ratio, seguindo a equação proposta por De Wit e Van den Bergh (1965):

$$LER = \left(\frac{Y_{abc}}{Y_{aa}} \right) + \left(\frac{Y_{bac}}{Y_{bb}} \right) + \left(\frac{Y_{cba}}{Y_{cc}} \right) \quad (1)$$

Onde LER: uso eficiente da terra;

Y_{ab} - Rendimento da cultura A em consórcio com a cultura B em kg ha⁻¹;

Y_{aa} - Rendimento da cultura A em monocultura em kg ha⁻¹;

Y_{ba}: Rendimento da cultura B em consórcio com a cultura A em kg ha⁻¹;

Y_{bb} - Rendimento da cultura B em monocultura em kg ha⁻¹;

Y_{cb} - Rendimento da cultura C em consórcio em kg ha⁻¹

Y_{cc} - Rendimento da cultura C em monocultura em kg ha⁻¹;

LER > 1 indica que os rendimentos por área dos consórcios são maiores do que os rendimentos da cultura em monocultura, o valor > 1 representa a proporção que aumenta.

Foi determinada a dominância entre as espécies nos diferentes consórcios com o cálculo do índice de agressividade (A), seguindo a equação de Willey (1979):

$$A_{ab} = \left(\frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} \right) - \left(\frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} \right) \quad (2)$$

Onde A_{ab} : Agressividade da cultura A em consórcio com a cultura B;

Y_{ab} : rendimento em kg ha^{-1} da cultura A em consórcio com a cultura B;

Y_{ba} : rendimento em kg ha^{-1} da cultura B em consórcio com a cultura A;

Y_{aa} : rendimento em kg ha^{-1} da cultura A em monocultura;

Y_{bb} : rendimento em kg ha^{-1} da cultura B em monocultura;

Z_{ab} : proporção da cultura A no consórcio com B;

Z_{ba} : proporção da cultura B no consórcio com A.

A agressividade da outra cultura (B) no consórcio com A foi calculada por meio da equação:

$$A_{ba} = \left(\frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} \right) - \left(\frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} \right) \quad (3)$$

Valores positivos de A indicam que a cultura é dominante.

2.8.4. ATRIBUTOS DA MATÉRIA VEGETAL DE RAÍZES

A coleta de raízes foi feita pelo método de amostragem do trado (Böhm, 1979; Bengough et al., 2000), coletando núcleos de solo de 5,88 cm de diâmetro por 9,83 cm de profundidade, perfazendo um volume total de $266,9 \text{ cm}^3$ de solo. A coleta foi realizada no ponto localizado na metade da entrelinha das culturas, na camada de 0-10 cm, O que garantiu manter uma única distância entre a planta e o ponto de amostragem em todos os sistemas de cultura podendo avaliar o efeito de cada sistema no desenvolvimento das raízes. A amostra com solo e raiz foi embalada em sacolas de polipropileno e mantidas em refrigeração a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ até o processamento.

2.8.4.1. Processamento de amostras de raízes

As amostras de raízes mais solo foram lavadas com água sem dispersante, desagregado manualmente, sobre um conjunto de peneiras de 2 e 1 mm de diâmetro. O processo foi repetido por 10 vezes. Na sequência, as raízes que ficaram retidas em cada peneira foram retiradas com pinças e distribuídas em papel absorvente, que posteriormente foram levados a secagem em estufa a $45 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas. As raízes secas foram retiradas do papel e pesadas em balança de precisão, obtendo o valor de massa seca total de raiz (Ms_r). Os

atributos comprimento (Comp) e a área superficial radicular (Asr) foram mensurados por meio do software WinRhizo® (Regent, 2015) (Figura 3).

Com os valores de Msr e de volume do solo coletado pelo trado foi calculada a densidade da raiz (Der) em $g\ m^{-3}$ segundo a equação:

$$Der\ (g\ m^{-3}) = \left(\frac{Msr\ (g)}{volume\ de\ solo\ (m^3)} \right) \quad (4)$$

Dos valores de Comp e volume de solo coletado pelo trado foi calculado o atributo densidade linear radicular (DLR) por meio da equação:

$$DLR\ (cm\ cm^{-3}) = \left(\frac{Comp\ (cm)}{volume\ de\ solo\ (cm^3)} \right) \quad (5)$$

Com os valores de Comp e Msr foi calculada a densidade específica radicular (SLR), segundo a equação:

$$SLR\ (m\ g^{-1}) = \left(\frac{Comp\ (m)}{Msr\ (g)} \right) \quad (6)$$



FIGURA 3. Amostragem de raízes. Coleta com trado (A), lavagem (B), secagem (C) e análise de raízes pelo software WinRhizo® (D).

2.8.5. ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

Prévio às análises, foi calculada a capacidade de retenção de água das amostras de solo (Monteiro e Frighetto, 2000) e ajustada para 60 % da sua capacidade de campo.

2.8.5.1. Carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) pelo substrato induzido

O carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) foi calculado pelo método de Anderson e Domsch (1978) induzindo a respiração com glicose. Na quantificação do carbono da biomassa microbiana utilizou-se a equação proposta por Anderson e Domsch (1978):

$$BMS = 30 \times (b - a) \times \left(\frac{(k \times 22)}{(1,8295 \times PA \times 6)} \right) \quad (7)$$

Onde:

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 1mol L⁻¹, corresponde a 22 mg de CO₂);

1,8295: densidade do CO₂ a 22 °C;

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

6: fator de conversão de 6 h para 1 h.

2.8.5.2. Respiração basal do solo (RBS)

Foi determinada pelo método estático proposto por Alef (1995). Incubaram-se 50 g de solo úmido junto com 10 mL de NaOH (0,5 N padronizado com biftalato de potássio C₈H₅KO₄) em um recipiente plástico fechado com tampa, em câmara a 25 °C por 168 horas. A RBS, expressa em mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹, foi calculada de acordo com Stotzky e Pramer (1972):

$$RBS = \left(\frac{(B - V) \times N \times E \times FU \times FC \times 20}{T} \right) \quad (8)$$

em que:

RBS = respiração basal do solo expressa em mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹;

B = volume em mL de HCl gasto na prova em branco (controle);

V = volume em mL de HCl gasto na amostra exposta ao solo;

N = normalidade do HCl;

E = equivalente-grama do carbono = 6;

FU = fator umidade obtido pelo quociente entre as massas de solo úmida e seca;

FD = fator diluição obtido pelo quociente entre os volumes de NaOH usados na incubação e na titulação;

20 = fator de correção de 50 g para kg

T = tempo de incubação em horas.

2.8.5.3. Quociente microbiano - q_{Mic}

O coeficiente microbiano (q_{Mic}) foi obtido pela relação entre os atributos carbono da biomassa microbiana do solo (BMS) e o carbono orgânico total do solo (COT), indicado a proporção de carbono fixado na biomassa dos microrganismos.

$$q_{Mic} = \frac{BMS (mg C kg^{-1}) \times 100}{COT(mg)} \quad (9)$$

Onde:

q_{Mic} : Quociente microbiano: (%);

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

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

2.8.5.4. Quociente metabólico - q_{CO_2}

O quociente metabólico (q_{CO_2}) foi calculado pela razão da respiração basal do solo (RBS) e o carbono da biomassa microbiana do solo (BMS):

$$q_{CO_2} = \frac{RBS (mg C - CO_2 kg^{-1} solo h^{-1})}{BMS (mg C kg^{-1})} \quad (10)$$

Onde:

q_{CO_2} : Quociente metabólico ($mg C - CO_2 mg^{-1} C BMS h^{-1}$);

RBS: Respiração basal do solo ($C - CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}$);

BMS: Carbono da biomassa microbiana do solo ($mg C kg^{-1}$).

2.8.6. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

As amostras de solo foram desagregadas manualmente, respeitando os pontos de fraqueza, e passadas na peneira de 8 mm de diâmetro. Posteriormente, os agregados foram coletados e secos ao ar e a sombra, embalados e armazenados até o momento das análises.

2.8.6.1. Distribuição de agregados estáveis em seco em classes de tamanho e diâmetro médio ponderado via seco (DMPs)

A separação de agregados por via seca seguiu o método descrito por Kemper e Rosenau (1986), utilizando um conjunto de peneiras superpostas com malha de: 2; 0,250 e 0,053 mm, sobre agitador eletromagnético, na frequência de 100 rpm durante 10 min. O solo retido em cada peneira foi pesado e calculou-se a percentagem de agregados estáveis em cada uma das classes: 8-2; 2-0,250; 0,250-0,053; < 0,053 mm. O atributo Diâmetro Médio Ponderado de agregados seco (DMPs) foi calculado segundo o método de Kemper e Rosenau (1986) por meio da equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (11)$$

em que

x_i = diâmetro médio da classe;

w_i = proporção de cada classe em relação ao total.

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

Para a estabilidade de agregados em água, pesou-se uma amostra total de 50 g de solo mantendo em separado as proporções de cada classe de agregados em seco (8-2; 2-0,250; 0,250-0,053 mm) cada classe de agregados, colocou-se na peneira com diâmetro de malha correspondente 2; 0,250 e 0,053 mm. O procedimento foi feito segundo Elliot (1986), submetendo o conjunto de peneiras imersas em água (sem umedecimento prévio das amostras - processo *slaking*) à agitação vertical no aparelho de Yoder (1936) por 10 minutos. O solo retido em cada peneira foi seco a 105 °C durante 24 h. Após, pesou-se e obteve-se a massa e a percentagem de agregados estáveis em cada uma das classes de diâmetro de agregados, e calculou-se o DMP via úmida (DMPu), segundo o método de Kemper e Rosenau (1986) supracitado (equação 11).

2.8.6.3. Índice de estabilidade de agregados - IEA.

Calculou-se o atributo índice de estabilidade de agregados (IEA) segundo (Wendling et al., 2005):

$$IEA = \left(\frac{DMPu}{DMPs} \right) \quad (12)$$

Onde:

IEA: índice de estabilidade de agregados;

DPMu: Diâmetro Médio Ponderado úmido (mm);

DMPs: Diâmetro Médio Ponderado seco (mm).

2.8.7. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Realizou-se análises químicas pelos métodos propostos por Marques e Motta (2003) para determinação dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} por KCl 1 mol L^{-1} , sendo o Al^{+3} determinado a partir de titulação NaOH 1 mol L^{-1} e o Ca^{+2} e Mg^{+2} por espectrometria de absorção atômica por chama. Após extração com solução Mehlich-1, o K^{+} foi determinado por fotometria de chama e o P por calorimetria. O pH foi determinado em água na proporção 1:1, solução de KCl 1 mol L^{-1} , solução de CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e solução tampão SMP. Também foi determinado o carbono orgânico total do solo (COT), obtido mediante o método calorímetro através da oxidação por dicromato de sódio e leitura em espectrofotômetro C (Walkley e Black, 1934)

2.9.ÍNDICADOR GERAL DE QUALIDADE DO SOLO – GISQ

Aplicou-se a metodologia do Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ, sigla em inglês: General Indicator of Soil Quality) desenvolvido por Velasquez et al. (2007) para integrar os diferentes atributos do solo avaliados e fornecer uma avaliação global da qualidade do solo entre 0,1 e 1,0.

O indicador foi desenvolvido a partir de Análises de Componentes Principais (ACP) aplicadas em separado aos conjuntos de atributos de raízes, biológicos, físicos e químicos do solo. Em cada ACP, foi avaliada a contribuição ou inércia de cada atributo com as duas primeiras componentes. Destes, os que apresentaram contribuição $> 50 \%$ do máximo valor para qualquer das duas componentes foram considerados significativos.

Posteriormente, foram calculados os subindicadores do GISQ constituídos por o conjunto de atributos com valores entre 0,1 e 1,0 e definidos como subindicador RAIZ, BIOL, FISIC, QUIM. Para isto, o conjunto de atributos mesurados foram reduzidos numa classificação entre 0,1 e 1,0 por meio da equação de transformação homotética:

$$Y = 0,1 + \frac{x-b}{a-b} \times 0,9 \quad (13)$$

Onde

x= atributo para transformar;

a = valor máximo do atributo;

b = valor mínimo do atributo.

Para os atributos cujo valor aumenta em razão da má qualidade do solo, por exemplo o Al^{+3} , foi usada a equação:

$$Y = 1,1 - \left(0,1 + \frac{x-b}{a-b} \times 0,9 \right) \quad (14)$$

Os valores de cada atributo reduzidos foram multiplicados pela sua contribuição ou inércia em cada uma das duas componentes, e o produto de ambas foi somado. Posteriormente, foram somados todos os atributos obtendo um único valor.

O valor foi reduzido para valores na ordem entre 0,1 e 1,0 conforme a equação (13). Este valor corresponde com a qualificação do subindicador para esse conjunto de atributos, identificando o desempenho de cada tratamento, neste caso para cada sistema de culturas.

O indicador geral (GISQ) foi determinado a partir dos subindicadores. Para isso, com os valores dos subindicadores de cada conjunto de atributos (RAIZ, BIOL, FISIC, QUÍM) foi construída uma matriz e realizada uma nova Análise de Componentes Principais (ACP). Desta, foi obtida a contribuição de cada subindicador na formação dos dois primeiros componentes da ACP e a inércia total (%) explicada pelos dois primeiros componentes.

A contribuição de cada subindicador na ACP foi multiplicada pelos valores do subindicador correspondente, estes novos valores de subindicadores foram somados para cada tratamento, reduzidos por meio da equação (13) para obter o valor GISQ entre 0,1 e 1,0 para cada tratamento ou sistema de culturas.

2.10. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados dos atributos foram avaliados quanto à sua homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett (1937) e a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Os atributos cujas variâncias mostraram-se homogêneas tiveram os efeitos dos tratamentos testados por meio do teste F, em uma análise de variância. Enquanto, as que apresentaram heterogeneidade, os valores originais foram transformados para posterior análise pelo mesmo teste.

Quando os resultados revelaram diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tratamentos, estas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para a análise de dados foi usado o programa estatístico ASSISTAT 7.7 BETA versão 2013. E para a análise de GISQ, foi usado o software R.

As análises de Componentes Principais, além da contribuição para o GISQ permitiram explorar as relações e correlações de grupos pareados *pairwise* entre os atributos de raízes, biológicos, físicos e químicos do solo.

3. RESULTADOS.

3.1. PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO

3.1.1. PRODUÇÃO DE MATÉRIA VEGETAL DA PARTE AÉREA

A produção da matéria vegetal da parte aérea das culturas de feijão (F), milho (M) e berinjela (B) foram diferentes em produção de biomassa aérea, quando estabelecidas em monocultura e em consórcio para ambas as avaliações, 35 e 94 dias após germinação (DAG) [Tabela 2].

TABELA 2. Massa seca da parte aérea das culturas nos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Cultura	Feijão		Cultura	Milho		Cultura	Berinjela	
	35 DAG	94 DAG		35 DAG	94 DAG		35 DAG	94 DAG
	....g planta ⁻¹ ...			....g planta ⁻¹ ...			....g planta ⁻¹	
F ¹	23,4 ^{ns}	54,7 ^{ns}	M ²	21,9 ^{ns}	185,5 ^b	B ³	9,8 ^{ns}	54,5 ^a
FM	18,2	53,1	MF	23,9	256,9 ^{ab}	BM	8	34 ^b
FB	21,1	53,9	MB	31	358,7 ^a	BF	7,2	31,6 ^b
FMB	14,3	34,8	MFB	30,4	247,9 ^{ab}	BMF	6	23,4 ^b
p valor	0,2	0,3		0,2	0,05		0,3	0,01
CV (%)	31,9	30,9		24,7	28,4		34,8	42,5

¹Feijão monocultura F; feijão consorciado com milho FM; feijão consorciado com berinjela FB; feijão consorciado com milho e berinjela FMB. ²Milho monocultura M; milho consorciado com feijão MF; milho consorciado com berinjela MB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. ³Berinjela monocultura B; berinjela consorciada com milho BM; berinjela consorciada com feijão BF; berinjela consorciada com milho e feijão BMF. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey p < 0,05; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação.

O crescimento vegetativo do F não foi influenciado pela presença de M ou de B aos 35 nem aos 94 DAG. Por sua vez, o M apresentou maior produção de massa seca aos 94 DAG, quando esteve consorciado com B quando comparado ao M em monocultura.

A produção de massa seca da parte aérea de B foi superior na monocultura aos 94 DAG e inferior quando associada a M e F.

3.1.2. Índice de agressividade das culturas

Em relação ao índice de agressividade, o M apresentou valores positivos frente às culturas acompanhantes, sendo a cultura dominante nos diferentes consórcios (Figura 4). O F apresentou-se como a cultura dominante no consórcio com a B.

No consórcio das três culturas MFB, a B apresentou o mais baixo índice de agressividade (-3,8), mostrando-se como a cultura menos dominante perante o M e o F. A diminuição da produção de massa seca da parte aérea e a baixa dominância da B supõem limitações dessa cultura para compartilhar o espaço com outras culturas e ser estabelecida em consórcios.

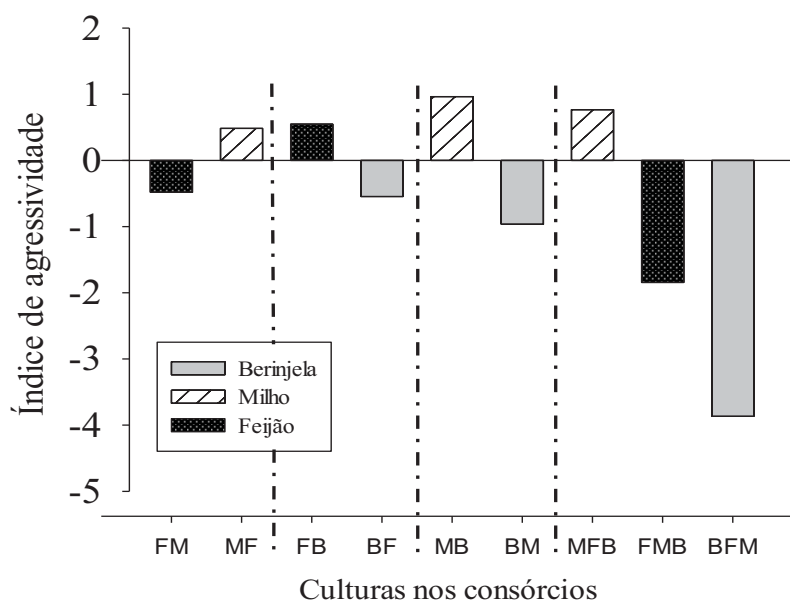


FIGURA 4. Índice de agressividade das culturas nos sistemas de cultura sob manejo orgânico. Valores positivos indicam dominância da cultura no consórcio. Feijão consorciado com milho FM; milho consorciado com feijão MF; feijão consorciado com berinjela FB; berinjela consorciada com feijão BF; milho consorciado com berinjela MB; berinjela consorciada com milho BM; milho consorciado com feijão e berinjela MFB; feijão consorciado com milho e berinjela FMB; e berinjela consorciada com milho e feijão BFM.

3.1.3. ÍNDICE DE USO EFICIENTE DA TERRA -LER E RECEITA BRUTA DOS SISTEMAS DE CULTURA SOB MANEJO ORGÂNICO

A produção de grãos de M e F não foi afetada pelos consórcios, por sua vez, a produção de frutos de berinjela (B) passou de 0,4 kg planta⁻¹ em monocultura para 0,1 kg planta⁻¹ no consórcio triplo com o milho e o feijão (Tabela 3).

Os valores do índice de uso eficiente da Terra (LER, sigla em inglês) estão apresentados na Tabela 4. Os sistemas de cultura em consórcio MF, MFB apresentaram valores totais de uso eficiente da terra (LER_T do consórcio) de 1,1; e 1,6 respectivamente, indicando vantagens na utilização destes sistemas de cultura consorciados em relação ao rendimento em

monocultivo. O que significa que para obter a mesma produção por área no caso do consórcio de três culturas MFB em monocultivos é preciso aumentar em 60 % a área de produção do milho ou do feijão ou da berinjela se fossem plantadas isoladamente (Tabela 4). No entanto, o consórcio FB apresentou um LER_T de 0,7 que indica que este consórcio não foi eficiente para a produção de grãos de feijão e de frutos de berinjela quando comparado com os rendimentos dos mesmos em monocultura

TABELA 3. Produção de grãos e frutos das culturas nos sistemas de culturas sob manejo orgânico.

Cultura	Monocultura	MF	BM	FB	MFB	CV
	.....kg planta ⁻¹					%
F ^{ns}	0,03	0,03		0,03	0,02	30,4
M ^{ns}	0,12	0,16	0,17		0,17	21,4
B	0,38 a		0,18 ab	0,17 ab	0,12 b	49,0

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey $p < 0,05$, ns: não significativo. CV: coeficiente de variação.

TABELA 4. Produtividade e uso eficiente da terra (LER) das culturas (LER_P) e dos consórcios (LER_T), nos sistemas de culturas sob manejo orgânico.

Monoculturas	.....Consórcios.....												
	M	F	MF	M	B	BM	F	B	FB	M	F	B	MFB	
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹				
F	907	2201	382	2393	2525		454	2410		2372	703	1430		
M	3324	LER _P	LER _T	LER _P	LER _T		LER _P	LER _T		LER _P			LER _T	
B	10625	0,7	0,4	1,1	0,7	0,2	0,9	0,5	0,2	0,7	0,7	0,8	0,1	1,6

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB; Uso eficiente da terra parcial das culturas individuais (LER_P); uso eficiente da terra total do consórcio (LER_T); ¹Valores obtidos da avaliação da produção de 20 plantas por sistema de cultura e a densidade de plantas em cada sistema assim: Monoculturas: 27.777,8 plantas ha⁻¹; consórcios MF, BM e BM 13.888,9 plantas ha⁻¹ por cultura; consórcio MFB, 27.777,8 plantas ha⁻¹ para feijão e 13.888,9 plantas ha⁻¹ para milho e feijão.

Os valores de uso eficiente da terra parcial para o M (LER_P) nos diferentes sistemas de consórcio, MF, BM e MFB, foram de 0,7 respectivamente (Tabela 4). indicando que o M consorciado conseguiu produzir até 70 % do que produziria em monocultura, na mesma área, e com uma densidade de plantas 50 % menor, o que pode estar relacionado com a habilidade do milho em beneficiar-se das culturas acompanhantes.

Por sua vez, o F obteve valores LER_p de 0,4, 0,5 e 0,8 nos sistemas de consórcio MF, FB e MFB, respectivamente (Tabela 4). Assim, no consórcio MFB, o feijão alcançou 80 % da produção em relação à sua monocultura em uma mesma área. No entanto, neste consórcio, o F contava com o mesmo número de plantas do sistema F em monocultura, indicando que a produção do F apresentou tendência a diminuir.

No caso da B, os valores de LER_p nos consórcios BM, FB e MFB foram de 0,2, 0,2 e 0,1, respectivamente, apontando a diminuição da eficiência produtiva desta cultura quando compartilhou espaço com as outras culturas.

Do ponto de vista econômico, as culturas tanto em monocultura quanto em consórcios apresentaram comportamentos diferentes quanto à Receita Bruta (RB) gerada por área plantada (Tabela 5).

TABELA 5. Receita bruta gerada pela venda da produção das culturas nos sistemas de culturas sob manejo orgânico.

	Monocultura		MF		BM		FB		MFB	
	Cultura	Consórcio	Cultura	Consórcio	Cultura	Consórcio	Cultura	Consórcio	Cultura	Consórcio
	.....R\$ ha ⁻¹									
F	1.269,9 a	534,4 b	1.194,6				635,0 b	6.234,9	983,9 ab	5.018,8
M ^{ns}	997,1	660,2	717,9	6.585,2					711,7	
B	2.4691,5 a		5.867,3 b				5.599,9 b		3.323,1 b	

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. Letras minúsculas na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey $p < 0,05$, ns: não significativo.

A berinjela foi a cultura que apresentou melhores preços de venda no mercado, R\$ 2,3 kg⁻¹, incrementando a rentabilidade da produção dos sistemas de cultura onde ela fez parte. Assim, sob as condições do experimento, um hectare de berinjela gerou uma receita bruta total de R\$ 24.691,50 durante o ciclo da cultura. Já nos sistemas de consórcio onde a berinjela fez parte, como BM, FB, MFB, o ingresso por valor de venda da berinjela representou 89, 90 e 66 % sobre o total de receita bruta obtida em cada consórcio, respectivamente.

A receita bruta gerada pelo milho não foi diferente entre monocultivo e os consórcios com F ou B. No caso do F, a receita bruta não diferiu quando consorciou-se com o milho (FM) ou berinjela (FB), mas sim quando estabeleceu-se como monocultura.

3.2. ÍNDICADOR GERAL DE QUALIDADE DO SOLO (GISQ) NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO

Os valores entre 0,1 e 1 dos subindicadores do indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ, sigla em inglês) para cada conjunto de atributos avaliados: raízes (RAIZ), biológicos (BIOL), físicos (FISIC) e químicos (QUIM) e para cada sistema de cultura, nas avaliações feitas aos 35 e 94 Dias Após Germinação (DAG) constam na Tabela 6.

Os valores dos subindicadores apresentaram dinâmicas nos sistemas de cultura e nas avaliações aos 35 e 94 DAG. O subindicador RAIZ, e QUIM apresentaram incrementos, o subindicador FISIC por sua vez apresentou reduções e o subindicador BIOL apresentou estabilidade nos valores quando comparadas as avaliações aos 35 e 94 DAG (Tabela 6).

TABELA 6. Valores dos subindicadores do indicador de qualidade do solo (GISQ) para os sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após a germinação (DAG).

Subindicador	Sistemas de cultura													
	F	M	B	MF	BM	FB	MFB	F	M	B	MF	BM	FB	MFB
	.....35 DAG.....						.....94 DAG.....							
RAIZ	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
BIOL	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,5
FISIC	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,6	0,2	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6
QUIM	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

Esta dinâmica dos subindicadores foi expressa na Análise de Componentes Principais (Figura 5), feita com os valores dos subindicadores, que explicou o 81,4 % da variância dos dados, agrupando subindicadores e relacionando-os com os sistemas de culturas nas duas épocas de avaliação após germinação.

Na componente 1 (C1) com 52,3 % da variância explicada, os sistemas de cultura aos 35 e aos 94 DAG encontram-se agrupados mas em oposição. Agruparam-se os subindicadores RAIZ e QUIM com os sistemas de cultura aos 94 DAG e em posição oposta, localizou-se o subindicador FISIC relacionado com os sistemas de cultura aos 35 DAG (Figura 5). O comportamento do subindicador FISIC poderia indicar que a física do solo mudou no tempo, sendo favorecida nas etapas iniciais de desenvolvimento dos sistemas de cultura, quando comparada aos 94 DAG.

A componente 2 (C2) com 29,1 % da variância explicada separou, principalmente, os sistemas de culturas que apresentaram relação com o subindicador BIOL contrastando-os com os sistemas de cultura relacionados com o subindicador FISIC (Figura 5). Dessa forma, houve distribuição relacionada ao subindicador FISIC nas duas componentes, sugerindo que os atributos físicos foram afetados tanto pela raiz quanto pela-biologia, e no caso dos atributos químicos poderiam ter sido beneficiados, efeitos gerados principalmente aos 94 DAG.

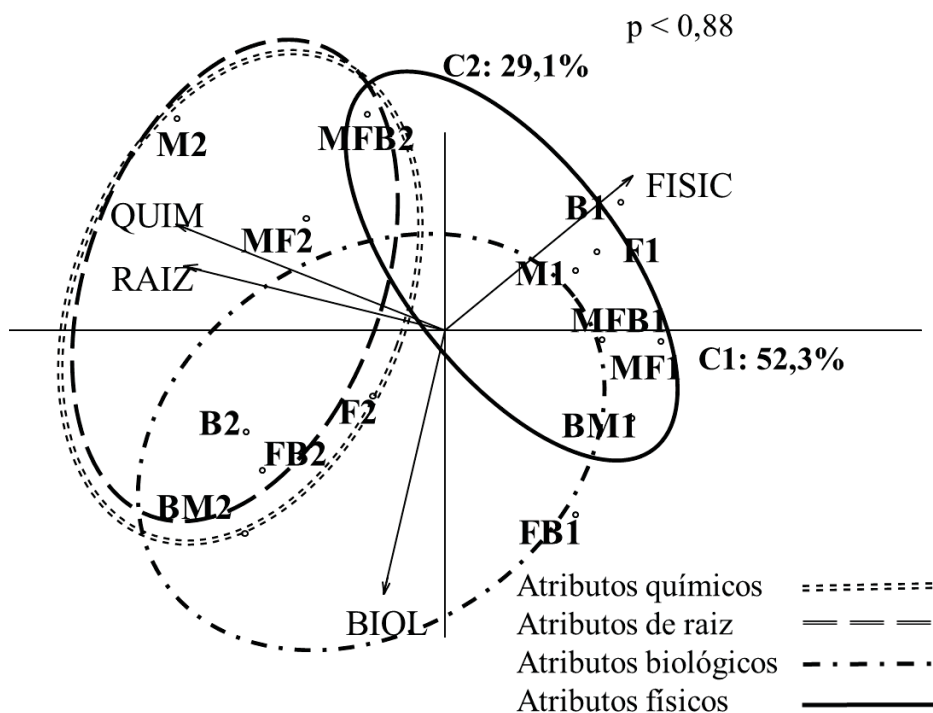


FIGURA 5. Análise de Componentes Principais dos subindicadores de qualidade do solo constituídos pelos conjuntos de atributos de raiz (RAIZ), biológicos (BIOL), físicos (FISIC) e químicos (QUIM) aos 35 dias após a germinação (DAG) (letras seguidas pelo número 1) e 94 DAG (letras seguidas pelo número 2) nos sistemas de cultura sob manejo orgânico: Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. Linha tracejada em vermelho agrupa sistemas de cultura com destaque no subindicador QUIM; linha em amarelo agrupa sistemas com destaque no subindicador RAIZ; linha em azul agrupa sistemas de cultura com destaque no subindicador BIOL; e linha em preto agrupa sistemas com destaque no subindicador FISIC.

Os sistemas de cultura B, BM e FB aos 94 DAG alcançaram valores entre 0,5 e 0,8 nos subindicadores RAIZ, BIOL e QUIM. O sistema MFB por sua vez, além dos subindicadores RAIZ e QUIM, teve alto valor para o subindicador FISIC (Tabela 6), e foi o único sistema de culturas que manteve valores de 0,6 no subindicador FISIC nas duas avaliações.

A partir dos valores dos subindicadores aos 94 DAG, a figura 5 apresenta a localização dos sistemas de cultura na ACP, onde B, BM, FB e MFB se encontraram nas áreas de intersecção dos subindicadores sinalizadas com círculos de cores amarelo, vermelho, azul e preto. Os sistemas de cultura M e MF aos 94 DAG posicionaram-se na intersecção dos subindicadores RAIZ e QUIM (Figura 5, círculos de cores amarelo e vermelho) com valores nos subindicadores de 0,8, 0,8 e 0,6, 0,7, respectivamente (Tabela 6). O sistema de cultura F aos 94 DAG relacionou-se com os subindicadores BIOL e QUIM (Figura 5, círculos de cores azul e vermelho) com valores entre 0,6 e 0,7, respectivamente (Tabela 6).

No desempenho destacado nos subindicadores dos sistemas de cultura B, BM, FB e MFB, a cultura da berinjela e o subindicador RAIZ foram comuns, o que sugere à berinjela favorecer o desenvolvimento de atributos biológicos, físicos e químicos no solo, a partir do seu sistema radicular e as interações com outras culturas.

A partir das contribuições que cada subindicador teve na ACP, determinou-se que o subindicador QUIM apresentou a maior contribuição com peso de 2,4, seguido pelos subindicadores BIOL com 2,1, RAIZ com 1,9 e FISIC com 1,7 (Tabela 7). Com estes pesos, obteve-se a equação do Índice Geral de Qualidade do Solo (Tabela 7) e, assim, calculou-se o GISQ para cada sistema de cultura (Tabela 8).

TABELA 7. Contribuição dos subindicadores (sb) aos Componentes 1 e 2 da ACP e determinação dos pesos de cada subindicador para definir o Índice Geral de Qualidade do solo – GISQ, segundo metodologia de Velazques et al. (2007).

Subindicador	Contribuição		Inércia %		Contribuição x Inércia		Peso contribuição a+b/100000
	Comp 1 ^a	Comp 2 ^b	Comp 1 ^a	Comp 2 ^b	A	B	
RAIZ	3240	675	52,3	29,1	169686,4	19655,6	1,9
BIOL	349	6753	52,3	29,1	18277,9	196643,8	2,1
FISIC	2463	1549	52,3	29,1	128993,1	45106,1	1,7
QUIM	3949	1023	52,3	29,1	206818,3	29789,2	2,4

Indicador geral de qualidade do solo (GISQ)

$$\text{GISQ} = (\text{sbRAIZ} * 1,9) + (\text{sbBIOL} * 2,1) + (\text{sbFISIC} * 1,7) + (\text{sbQUIM} * 2,4)$$

TABELA 8. Indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ) aos 35 e 94 dias após a germinação (DAG) para os sistemas de cultura sob manejo orgânico.

F	M	B	MF	BM	FB	MFB	F	M	B	MF	BM	FB	MFB
.....35 DAG.....							.....94 DAG.....						
0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,4	0,1	1,0	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

O valor do GISQ foi crescente entre as avaliações dos 35 e 94 DAG, com valores inicialmente baixos que evoluíram para valores médios e altos, produto da dinâmica dos subindicadores em cada sistema de cultura. Salvo o sistema F, que se manteve com valores baixos entre os 35 e os 94 DAG (Tabela 8). Sistemas como M, B, BM e FB alcançaram GISQ de 1,0; 0,8; 0,8; 0,8 respectivamente (Tabela 8). Já Sistemas como MFB, MF, evoluíram de valores 0,4 e 0,2 para valores de 0,7 e 0,7 respectivamente (Tabela 8). O M aos 94 DAG apresentou o máximo valor do GISQ como consequência de ter atingido um maior desenvolvimento nos subindicadores QUIM e RAIZ com valores de 0,8 e 0,8, respectivamente (Tabela 6). De outra parte, os demais sistemas como B, BM, FB, MF e MFB que evoluíram para valores do GISQ entre 0,7 e 0,8 (Tabela 8), tiveram comportamentos mais equilibrados por ter destaque aos 94 DAG em três dos quatro subindicadores avaliados como foram RAIZ, BIOL e QUIM, nos sistemas B, BM, FB, MF e BIOL, FISIC e QUIM para no sistema MFB (Tabela 6).

3.3. ATRIBUTOS DE RAIZ NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR RAIZ DO GISQ

Alguns dos atributos de raiz que compuseram o subindicador RAIZ, densidade de raiz (Der), massa seca de raiz (Msr), comprimento de raiz (Comp) e densidade linear radicular (DLR), apresentaram interação entre os fatores sistema de cultura e épocas de avaliação, indicando que não são independentes, baseados no teste de Tukey $p < 0,05$ (Apêndice 1). Por sua vez a área superficial radicular (Asr) apresentou diferenças estatísticas entre os sistemas de culturas e entre os 35 e 94 DAG pelo teste de Tukey $p < 0,05$ (Apêndice 1).

Houve incrementos aos 94 DAG nos atributos Der, Msr, Comp, Asr e DLR, em todos os sistemas de cultura, menos no F (Tabela 9). Isto também foi observado na análise de componentes principais (Figura 6), onde houve separação espacial dos sistemas aos 35 e 94 DAG ($p < 0,001$), agrupando atributos de raiz e sistemas de culturas aos 94 DAG.

Na componente 1 (71 % da variância explicada), agruparam-se as variáveis Msr e Der com os sistemas de cultura M e BM aos 94 DAG (Figura 6). Estes sistemas alcançaram o maior desenvolvimento nestas variáveis com 0,33 e 0,25 g e 1.230,4 e 921,96 g m⁻³, respectivamente (Tabela 9). Houve agrupamento entre DLR, Comp e Asr com os sistemas de cultura M, MF, BM, FB aos 94 DAG (Figura 6), pois estes sistemas alcançaram maiores valores de DLR e de Comp (Tabela 9), o que indicaria maior capacidade de exploração do

solo. O sistema com maior riqueza MFB apresentou menor desenvolvimento dos atributos de raiz Der, Msr Comp, DLR aos 94 DAG em comparação com o sistema M (Tabela 9), sugerindo que a riqueza de espécies não influenciou no maior desenvolvimento de atributos de raiz.

O subindicador RAIZ revelou a dinâmica dos atributos de raiz no tempo, apresentando as mudanças dos valores entre as avaliações feitas aos 35 e 94 DAG nos sistemas de cultura (Tabela 6). Os sistemas de culturas M, B, BM, MF, FB e MFB alcançaram valores de 0,8, 0,6, 0,6 e 0,6, 0,5 e 0,5 para o subindicador RAIZ aos 94 DAG, respectivamente (Tabela 6). O sistema F apresentou valores mais baixos (0,3) do subindicador RAIZ aos 35 e 94 DAG em relação aos demais sistemas de cultura (Tabela 6).

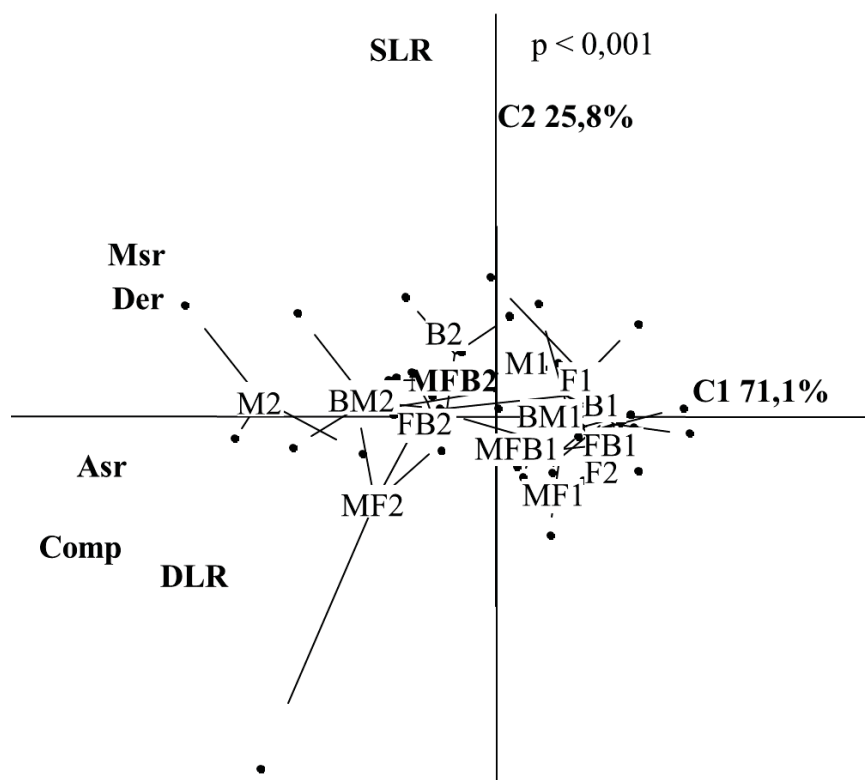


FIGURA 6. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos de raiz: Massa seca de raiz (Msr, g); Densidade da raiz (Der, $g\ m^{-3}$); Área superficial radicular (Asr, cm^2); Comprimento (Comp, cm); Densidade linear radicular (DLR, $cm\ cm^{-3}$); Densidade específica radicular (SLR, $cm\ g^{-1}$), desenvolvidos aos 35 DAG (letras com número 1) e 94 DAG (letras com número 2) nos sistemas de cultura sobre manejo orgânico: feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

TABELA 9. Densidade da raiz (Der), Massa seca de raiz (Msr), Área superficial radicular (Asr), Comprimento (Comp), Densidade linear radicular (DLR), Densidade específica radicular (SLR), dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Sistemas de Cultura	Der (g m ⁻³)		Msr (g)				Comp (cm)		DLR (cm cm ⁻³)		SLR (cm g ⁻¹)		Asr (cm ²)							
	DAG																			
	35	94	35	94	35	94	35	94	35	94	35	94	35	94						
F	439,82	Aa	392,61	Ac	0,12	Aa	0,1	Ac	633,68	Aa	698,49	Ac	2,37	Aa	2,62	Ac	1,9 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,64 ^{ns}	1,72 ^{ns}
M	440,06	Ba	1.230,41	Aa	0,12	Ba	0,33	Aa	532,16	Ba	1.670,85	Aa	1,99	Ba	6,26	Aa	2,12	1,95	1,64	2,18
B	345,03	Ba	745,7	Abc	0,09	Ba	0,2	Abc	574,37	Aa	899,47	Abc	2,15	Aa	3,37	Abc	1,61	2,27	1,6	1,89
MF	381,28	Ba	678,45	Abc	0,1	Ba	0,18	Abc	734,93	Ba	1.539,41	Aab	2,75	Ba	5,77	Aab	1,45	1,47	1,74	2,16
BM	414,81	Ba	921,96	Aab	0,11	Ba	0,25	Aab	628,62	Ba	1.274,23	Aabc	2,36	Ba	4,77	Aabc	1,76	1,94	1,67	2,08
FB	309,26	Ba	767,52	Abc	0,08	Ba	0,2	Abc	496,5	Ba	1.072,12	Aabc	1,86	Ba	4,02	Aabc	1,63	1,92	1,56	1,98
MFB	466,41	Ba	728,28	Abc	0,12	Ba	0,19	Abc	778,92	Aa	937,1	Abc	2,92	Aa	3,51	Abc	1,6	2,08	1,77	1,9
Media ¹																			1,66 A 1,99 B	
CV (%)	30,75		30,75				34,97		34,97		22,35		9,1							

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre as coletas e médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos, pelo teste de Tukey p < 0,05; ¹Média geral dos tratamentos aos 35 e 94 DAG; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação.

3.4. ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR BIOL DO GISQ

Os valores de respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (BMS), carbono orgânico total (COT), quociente microbiano (qMic) e quociente metabólico (qCO₂) não apresentaram diferenças significativas na interação entre os fatores: sistemas de cultura e épocas de avaliação, nem no fator sistema de cultura com base no teste Tukey $p < 0,05$ (Apêndice 1). O fator época de avaliação apresentou diferenças significativas para RBS, qMic e COT com base no teste Tukey $p < 0,01$ (Apêndice 1), apresentando aumentos na atividade microbiana e redução na quantidade do COT entre os 35 e 94 DAG (Tabela 10).

Por outro lado, a análise de componentes principais dos atributos biológicos com os sistemas de culturas tanto aos 35 quanto aos 94 DAG apresentou agrupamentos e oposições ($p < 0,01$) [Figura 7]. A componente 1 (47,8 % da variância explicada) agrupou a BMS e o qMic com os sistemas de cultura B, FB aos 94 DAG, e em oposição ao carbono orgânico total (COT), que relacionou-se com todos os sistemas de cultura aos 35 DAG (Figura 7). Os resultados indicaram relações inversas entre a atividade microbiana e COT, e maior conteúdo de COT nas primeiras etapas de desenvolvimento dos sistemas (35 DAG) do que aos 94 DAG.

TABELA 10. Carbono da biomassa Microbiana (BMS, mg C kg⁻¹); quociente microbiano (qMic, %); respiração basal do solo (RBS, mg C kg⁻¹ de mss h⁻¹); quociente metabólico qCO₂, (mg C-CO₂ mg⁻¹ C BMS h⁻¹); carbono orgânico total do solo (COT, g dm⁻³); nos sistemas de cultura sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Atributo	RBS		BMS		COT		qMic		qCO ₂	
	.....DAG.....									
Época	35	94	35	94	35	94	35	94	35	94
Media ¹	0,38 b	0,44 a	231,3 a	250,9 a	49,8 a	35,8 b	0,5 b	0,7 a	1,7x10 ^{-3ns}	1,8x10 ^{-3 ns}
CV (%)	27,7		17,4		13,4		26,2		25,9	
Col ⁰	0,5		184,6		49,4		0,4		2,9x10 ⁻³	

¹Médias gerais dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas linhas não diferem significativamente entre as épocas de coleta pelo teste de Tukey $p < 0,05$; ns: não significativo; CV: coeficiente de variação, Col⁰: valores determinados antes do início do experimento.

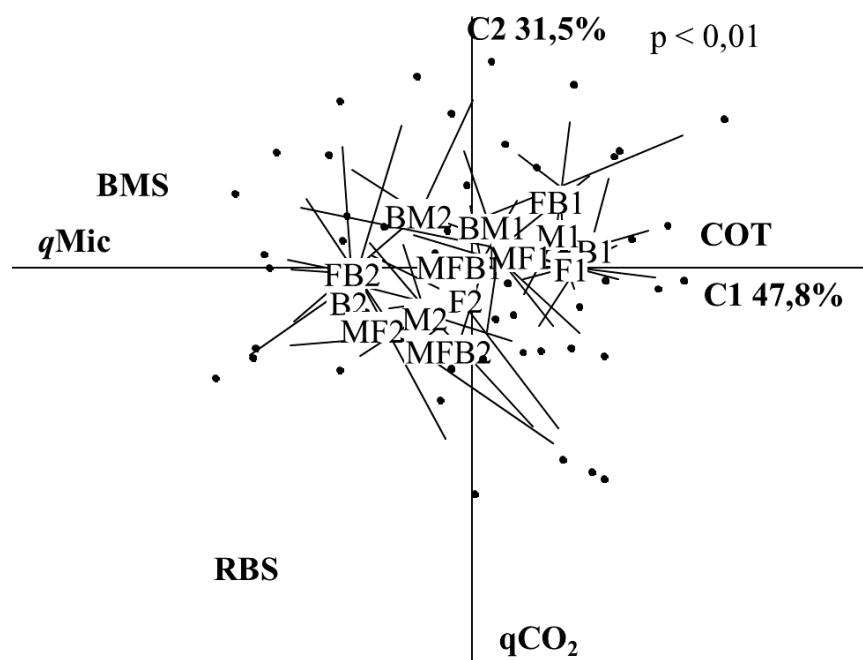


FIGURA 7. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos biológicos do solo: Carbono da biomassa microbiana (BMS, mg C kg^{-1}); Quociente microbiano (qMic, %); Respiração basal do solo (RBS, mg C kg^{-1} de mss h^{-1}); Quociente metabólico (qCO₂, $\text{mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C BMS h}^{-1}$); Carbono orgânico total do solo (COT, g dm^{-3}) aos 35 DAG (letras com número 1) e 94 DAG (letras com número 2) nos sistemas de cultura sobe manejo orgânico: feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

A componente 2 (31,5 % da variância explicada) relacionou a RBS e o qCO₂ principalmente com os sistemas de cultura MF, MFB, B, M aos 94 DAG (Figura 7).

Os atributos biológicos do solo antes da implementação do experimento (Col⁰) e entre os 35 e 94 DAG apresentaram mudanças. Na Col⁰, a RBS ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de mss h^{-1}) e o qCO₂ ($2,9 \times 10^{-3} \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C BMS h}^{-1}$) foram maiores que nas coletas subsequentes, a BMS apresenta incrementos nos valores em relação as demais coletas, passando de $184,6 \text{ mg C kg}^{-1}$ na Col⁰ para $231,3 \text{ mg C kg}^{-1}$ aos 35 DAG e $250,9 \text{ mg C kg}^{-1}$ aos 94 DAG, o que também aconteceu com o qMic, passando de 0,4 % para 0,7% a Col⁰ e os 94 DAG (Tabela 10). Por sua vez o COT apresenta redução entre a Col⁰ e os 94 DAG, passando de 49,5 para $38,5 \text{ g dm}^{-3}$, respectivamente (Tabela 10). Estas dinâmicas nos atributos (desde a Col⁰) supõem condições de maior consumo de energia, aumento nas populações e porem maior consumo de compostos orgânicos, fatos que podem estar relacionados com a redução do COT aos 94 DAG

Os valores do subindicador BIOL não apresentaram variação entre os 35 e 94 DAG, mantendo o rango entre 0,5 e 0,7 nas duas avaliações (Tabela 6), indicando que a intensidade da atividade microbiana se manteve ao longo do experimento. No entanto, entre os sistemas de cultura apresentam-se comportamentos diferenciados entre as duas coletas (35 e 94 DAG), B, BM e FB aos 94 DAG aumentaram os valores para 0,7 no subindicador BIOL já sistemas de culturas como M, MF, MFB aos 94 DAG, reduziram para valores de 0,5 (Tabela 6).

3.5. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR FISIC DO GISQ

Não houve interação dos fatores sistemas de cultura e época de avaliação para os atributos físicos, nem diferenças entre os sistemas de cultura, e nem entre as épocas de coleta (Apêndice 1), com exceção da proporção de agregados em seco da classe $< 0,053$ mm, que apresentou diferenças significativas entre sistemas de culturas e entre as épocas de avaliação, e a classe de agregados em úmido $< 0,053$ mm que se diferenciou nas avaliações pelo teste de Tukey $p < 0,05$.

Na componente 1 da ACP para os atributos físicos do solo, (56,6 % da variância explicada $p < 0,8$), não houve uma separação de sistemas de cultura nem aos 35 nem aos 94 DAG (Figura 8). Houve agrupamento de alguns atributos: as proporções das classes de agregados 0,250-0,053 mm em úmido e seco (A0,053U; A0,053S) e $< 0,053$ mm em úmido e seco (A<0,053U; A<0,053S) (Figura 8), que localizaram-se opostas às variáveis diâmetro médio ponderado em úmido e seco, e proporção de agregados na classe 8-2 mm tanto em seco quanto em úmido (DMPu; DMPs; A2S, A2U) (Figura 8). As classes de agregados de menor diâmetro relacionaram-se com os sistemas de cultura aos 94 DAG, e as classes > 2 mm com a avaliação aos 35 DAG (Figura 8).

Na componente 2 (21,1 % da variância explicada), o índice de estabilidade de agregados (IEA) e a classe de agregados 2-0,250 mm em úmido (A0,250U) estão em oposição, o que sugere perda de estabilidade desta classe de agregados entre os 35 e 94 DAG (Figura 8).

Os valores do subindicador FISIC, apresentou redução entre as avaliações aos 35 e 94 DAG, nos sistemas de cultura. Os sistemas M, B, MF, BM passaram de valores de 0,6 aos 35 DAG para valores de 0,5; 0,4; 0,5, no subindicador FISIC aos 94 DAG. Já o MFB foi o único sistema que manteve o valor de 0,6 nas duas avaliações aos 35 e 94 DAG (Tabela 6).

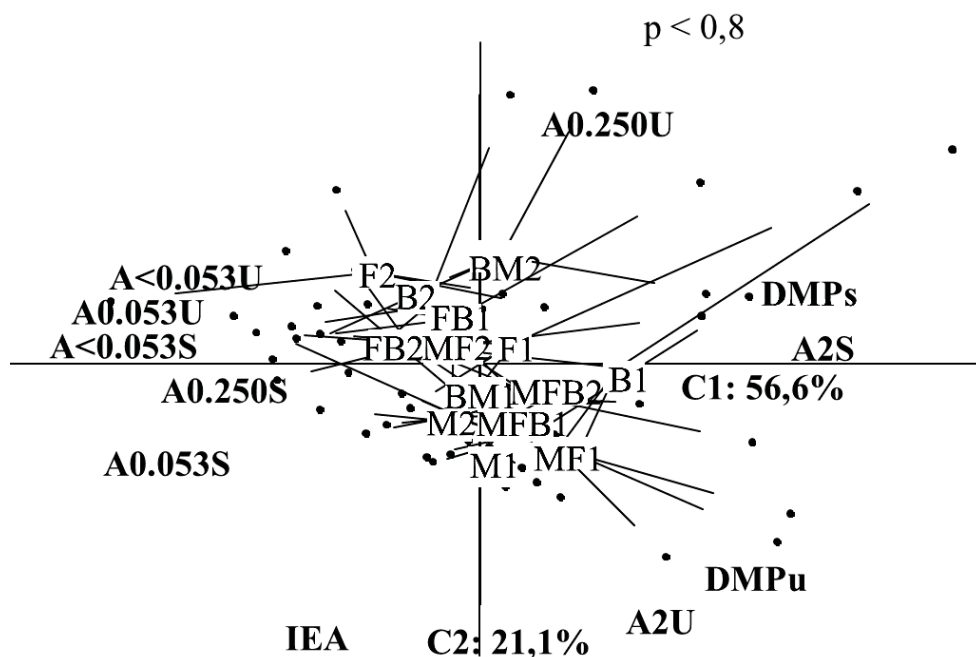


FIGURA 8. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos físicos do solo: Proporção de agregados em úmido na classe de 2-0,250 mm (A0,250U); Diâmetro médio ponderado seco (DMPs, mm); Proporção de agregados em seco na classe de 8-2mm (A2S); Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu, mm); Proporção de agregados em úmido na classe de 8-2 mm (A2U); Índice de estabilidade de agregados (IEA); Proporção de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053S); Proporção de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); Proporção de agregados em seco na classe de < 0,053 mm (< 0,053S); Proporção de agregados em úmido na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053U); Proporção de agregados em úmido na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053U); Proporção de agregados em úmido na classe de <0,053 mm (<0,053U) aos 35 DAG (letras com número 1) e 94 DAG (letras com número 2) nos sistemas de cultura sob manejo orgânico: feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

3.6. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO NOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO E O SUBINDICADOR QUIM DO GISQ

Nenhum dos atributos químicos do solo apresentaram interação entre os fatores sistemas de cultura e épocas de avaliação com base no teste Tukey $p < 0,05$ (Apêndice 1). Já de forma independente, a média geral dos sistema de cultura para cada uma das épocas de avaliação apresentaram diferenças ($p < 0,05$ apêndice 1), e os valores da média das duas épocas de avaliação (35 e 94 DAG) para cada sistema de cultura também apresentaram diferenças significativas nos atributos ($p < 0,01$, Apêndice 1). sendo que P, Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+1}

apresentaram diminuições das concentrações no solo entre os 35 e 94 DAG (Tabela 11). E o sistema M apresentou menor concentração no solo de P, Ca⁺² e Mg⁺² quando comparado com F e BM e de K⁺¹ em relação a BM e FB. nas medias das duas épocas de avaliação.

Entre a Col⁰ e os (35 e 94 DAG), o valor das medias gerais dos tratamentos na concentração de nutrientes no solo mudou. O P antes do plantio apresentou 8,7 mg dm⁻³, aos 34 DAG aumentou para 10,2 mg dm⁻³ e aos 94 DAG diminuiu para 8,1 mg dm⁻³ (Tabela 11), o mesmo comportamento aconteceu com o Ca⁺², já K⁺ e Mg⁺² mantiveram as concentrações similares às da Col⁰ (Tabela 11).

TABELA 11. pH, Fósforo (P), Alumínio (Al⁺³), Cálcio (Ca⁺²), Magnésio (Mg⁺²) e Potássio (K⁺), do solo nos sistemas de culturas sob manejo orgânico, media das duas épocas de avaliação.

Sistemas de Cultura	pH ^{ns} CaCl ₂	P mg dm ⁻³	Al ⁺³.....cmol _c dm ⁻³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹
F	5,3	10,0 a	0,2 b	6,4 a	3,4 a	0,3 Ab
M	5,1	6,7 b	0,5 a	5,3 b	2,9 b	0,1 B
B	5,2	9,0 ab	0,3 b	6,0 ab	3,3 ab	0,2 ab
MF	5,2	9,7 ab	0,3 ab	6,0 ab	3,2 ab	0,2 ab
BM	5,3	10,9 a	0,2 b	6,8 a	3,5 a	0,3 A
FB	5,2	9,5 ab	0,3 ab	6,1 ab	3,2 ab	0,3 A
MFB	5,2	8,1 ab	0,3 ab	6,1 ab	3,2 ab	0,2 ab
35 DAG ¹	5,25 a	10,2 a	0,3 a	6,3 a	3,4 a	0,3 A
94 DAG ²	5,16 b	8,1 b	0,3 a	5,9 b	3,1 b	0,2 B
CV (%)	2,1	22,4	46,0	10,7	8,1	38,6
Col ⁰	5,2	8,7	0,3	6,5	2,9	0,2

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre sistemas de cultura, nem entre avaliações aos 35 e 94 DAG pelo teste de Tukey p < 0,05; ns: não significativo; ¹ Medias gerais dos tratamentos aos 35 dias após germinação, ² Medias gerais dos tratamentos aos 94 dias após germinação, CV: coeficiente de variação, Col⁰: valores determinados antes do início do experimento.

A ACP dos atributos químicos do solo feita com os valores das duas épocas de avaliação (p < 0,08) expresou a dinâmica dos nutrientes no solo (Figura 9). A componente 1 (62,7 % da variância explicada) agrupou os nutrientes Ca⁺², Mg⁺², P e K⁺ e os relacionou, principalmente, com sistemas de cultura aos 35 DAG, mas também com F, e BM aos 94 DAG. Em oposição, encontrasse separados principalmente o sistema M (aos 35 e 94 DAG) e ao seu redor os sistemas MFB, MF, FB, B aos 94 DAG (Figura 9). Pelo que se matem o comportamento dos nutrientes apresentados na tabela 11, onde no caso do M é o sistema que

apresenta as menores concentrações de P, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, por sua vez, os sistemas F e BM apresentaram as maiores concentrações de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ (Tabela 11).

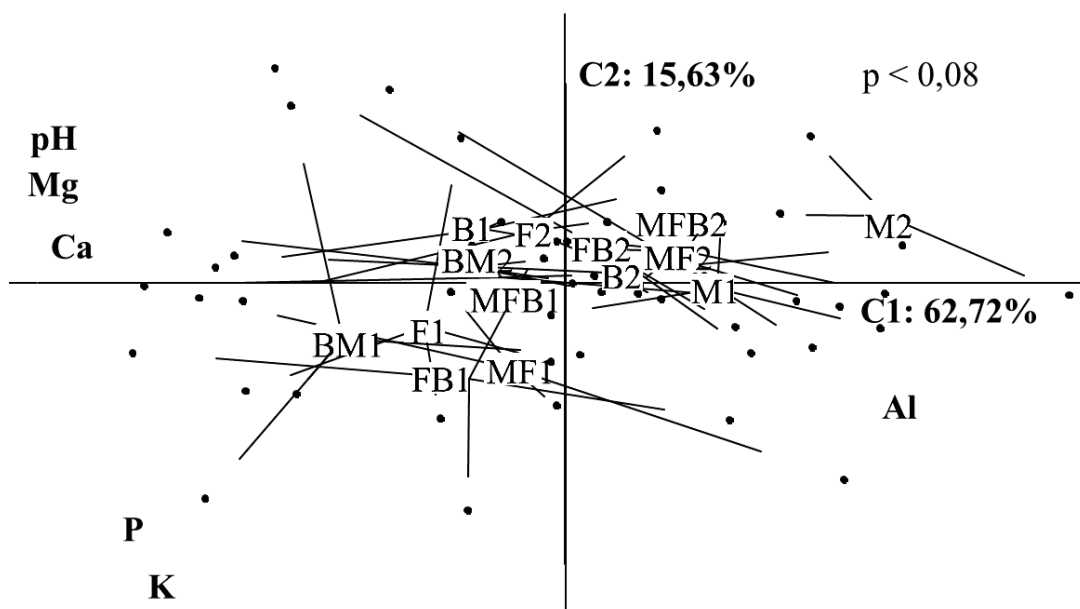


FIGURA 9. Análise de Componentes Principais do conjunto de atributos químicos do solo: pH (CaCl₂); Fósforo (P, mg/dm³); Alumínio (Al³⁺, cmol_c dm⁻³); Cálcio (Ca²⁺, cmol_c dm⁻³); Magnésio (Mg²⁺, cmol_c dm⁻³) e Potássio (K⁺, cmol_c dm⁻³), aos 35 DAG (letras com número 1) e 94 DAG (letras com número 2) nos sistemas de cultura sob manejo orgânico: feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

O pH mudou entre as avaliações, apresentou diferença significativa entre os 35 e 94 DAG, passando de 5,25 para 5,16 respectivamente (Tabela 11). Em relação a Col⁰, o pH se manteve estável aos 35 DAG e diminuiu aos 94 DAG (Tabela 11).

O Al³⁺ não mudou entre as épocas de avaliação (35 e 94 DAG), mas sim entre os sistemas de cultura, sendo que os sistemas M, MF, MFB e FB foram os que apresentaram maiores concentrações no solo com 0,49, 0,35, 0,31 e 0,30 cmol_c dm⁻³, respectivamente (Tabela 11).

Os valores do subindicador QUIM, incrementaram-se entre os 35 e 94 DAG, comportamento contrário ao da concentração de nutrientes no solo. O sistemas M e B alcançaram valores de 0,8 e os sistemas F, MF, FB, BM e MFB valores de 0,7 no subindicador QUIM (Tabela 6), Este comportamento indicaria que a menor concentração de nutrientes no solo aos 94DAG (Tabela 11) foi valorizada pelo subindicador, podendo estar

relacionado com a função do solo de ofertar nutrientes para a planta e sua capacidade da cultura em absorvê-los.

3.7. ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E CORRELAÇÃO DE GRUPOS PAREADOS DOS ATRIBUTOS DE RAIZES E SOLO DE SISTEMAS DE CULTURA SOB MENEJO ORGÂNICO

A relação entre os atributos de raízes, biológicos, físicos e químicos do solo foi obtida por meio de análise dos componentes principais (ACP), que está apresentada na Figura 10, e a correlação foi feita por grupos pareados contidos na Tabela 12.

Na componente 1 da ACP (29,8 % da variância explicada), os atributos biológico do solo, BMS, qMic e RBS, e os atributos de raiz, Asr, DLR, Comp, Msr e Des, agruparam-se e ficaram relacionados com os sistemas de cultura aos 94 DAG (Figura 10, círculos de linhas tracejadas de cores amarelo e azul). E, ainda, ficaram em oposição ao carbono total do solo (COT) e os atributos químicos, P, K, Ca, Mg e pH, relacionando-se com os sistemas de culturas aos 35 DAG (Figura 10, círculos de linhas tracejadas de cor vermelha).

A correlação *pairwise* entre qMic e COT foi negativa com valores de -722 (Tabela 12), indicando que o aumento da atividade metabólica dos microrganismos aos 94 DAG esteve relacionada com a diminuição dos conteúdos de COT. O atributo de raiz DLR apresentou correlações negativas com as concentrações de nutrientes no solo, para K^+ , P, Ca^{+2} e Mg^{+2} os valores foram de -511; -458; -254 e -337, respectivamente (Tabela 12).

Ainda na componente 1, tanto os atributos de raiz quanto os atributos biológicos encontraram-se em oposição aos atributos físicos associados aos macroagregados como A2S, A2U, A0.250U DMPs, DMPu (Figura 10, círculos de linhas tracejadas de cor preta).

A correlação *pairwise* entre a proporção de agregados em úmido na classe de 2-0,250 mm (A0.250U) e os atributos biológicos RBS, BMS e qMic foram negativas com valores de -387/1000 -364/1000 e -178/1000, respectivamente (Tabela 12). A alta atividade microbiana teria reduzido as proporções de agregados nessa classe.

Na componente 2 (20,2 % da variância explicada), agruparam-se os atributos índice de estabilidade de agregados (IEA) e microagregados, e em oposição estão os atributos associados com macroagregados A2S, A2U, A0.250U DMPs, DMPu (Figura 10).

Na correlação de *pairwise*, o IEA apresentou valores de -626/1000 para a classe de agregados em úmido 2-0,25 mm (Tabela 12), indicando que em esta classe de agregados foi mais instável. O IEA também apresentou correlações com o conteúdo de nutrientes no solo,

sendo que para K^+ , P, Ca^{+2} e Mg^{+2} , os valores foram de: -203 /1000, -214 /1000, -230 /1000, respectivamente, indicando que a maior instabilidade dos agregados das classes > 2 mm e 2-0,25 mm resultou em uma menor concentração de nutrientes no solo (Tabela 12).

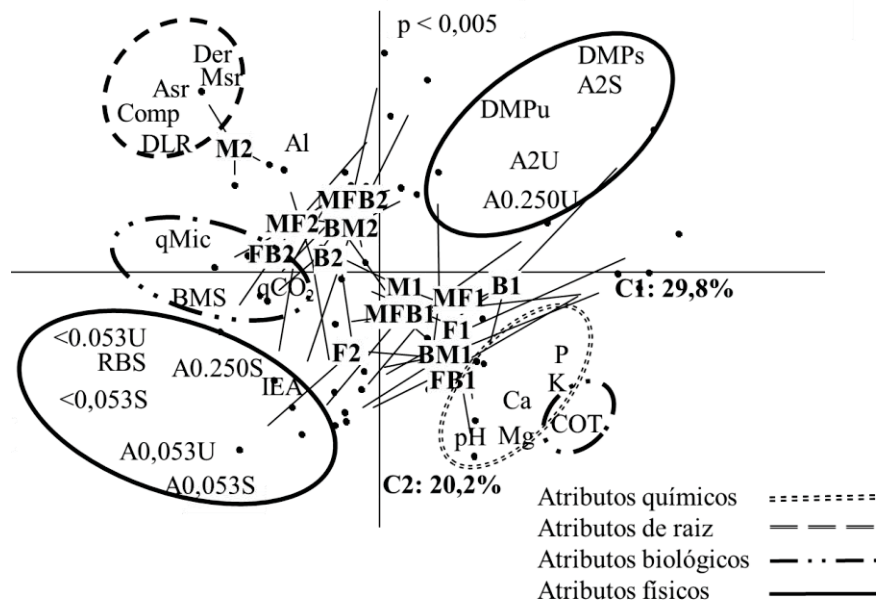


FIGURA 10. Análise de Componentes Principais dos conjuntos de atributos de raízes, biológicos, físicos e químicos do solo, desenvolvidos aos 35 DAG (letras com número 1) e 94 DAG (letras com número 2) nos sistemas de cultura sobre manejo orgânico: feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. Carbono da Biomassa Microbiana (BMS, $mg\ C\ kg^{-1}$); Quociente microbiano (qMic, %); Respiração basal do solo (RBS, $mg\ C\ kg^{-1}$ de mss h^{-1}); Quociente metabólico (qCO₂, $mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ C\ BMS\ h^{-1}$); Carbono Orgânico Total do Solo (COT, $g\ dm^{-3}$); Massa seca de raiz (Msr, g); Densidade da raiz (Des, $g\ m^{-3}$); Área superficial radicular (Asr, cm^2); Comprimento (Comp, cm); Densidade linear radicular (DLR, $cm\ cm^{-3}$); Proporção de agregados em úmido na classe de 2-0,250 mm (A0,250U); Diâmetro médio ponderado seco (DMPs, mm); Proporção de agregados em seco na classe de 8 -2mm (A2S); Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu, mm); Proporção de agregados em seco na classe de 8 -2 mm (A2U); Índice de estabilidade de agregados (IEA); Proporção de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053S); Proporção de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); Proporção de agregados em seco na classe de $< 0,053$ mm ($< 0,053S$); Proporção de agregados em úmido na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053U); Proporção de agregados em úmido na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053U); Proporção de agregados em úmido na classe de <0.053 mm ($<0,053U$); pH ($CaCl_2$); Fósforo (P, $mg\ dm^{-3}$); Alumínio (Al^{+3} , $cmol_c\ dm^{-3}$); Cálcio (Ca^{+2} , $cmol_c\ dm^{-3}$); Magnésio (Mg^{+2} , $cmol_c\ dm^{-3}$) e Potássio (K^+ , $cmol_c\ dm^{-3}$).

TABELA 12. Correlação *pairwise* entre atributos de raízes, biológicos, físicos e químicos do solo de sistemas de culturas sob manejo orgânico.

	A2S	A0.250S	A0.250U	A < 0.053U	DMPs	DMPu	COT	Msr	Der	Comp	DLR	Asr	K	P	Ca	Mg
IEA	-658	476	-626	86	-657	159	66	-60	-60	6	6	-19	-203	-214	-230	-93
RBS	-502	203	-387	502	-517	-341	-142	183	183	205	205	197	-211	-401	-302	-34
BMS	-350	147	-364	595	-360	-235	-133	186	186	251	251	268	-93	-63	-164	22
COT	-10	-164	-83	-308	-21	49	1000	-491	-491	-499	-499	-520	307	98	133	209
qMic	-234	215	-178	588	-233	-197	-722	418	418	467	467	491	-244	-102	-215	-145
qCO ₂	-224	86	-91	10	-231	-155	-35	31	31	-2	-2	-25	-143	-369	-176	-56
Msr	-23	93	110	256	-20	-102	-491	1000	1000	806	806	825	-468	-466	-299	-286
Der	-23	93	110	256	-20	-102	-491	1000	1000	806	806	825	-468	-466	-299	-286
Comp	-109	207	48	345	-101	-126	-499	806	806	1000	1000	983	-511	-458	-254	-337
DLR	-109	207	48	345	-101	-126	-499	806	806	1000	1000	983	-511	-458	-254	-337
SLR	127	-157	111	-93	120	19	-67	450	450	-166	-166	-107	-7	-83	-113	33
Asr	-82	190	69	366	-74	-120	-520	825	825	983	983	1000	-493	-442	-249	-335

Conjunto de atributos de raiz Massa seca de raiz (Msr, g); Densidade da raiz (Der g m⁻³); Área superficial radicular (Asr, cm²); Comprimento (Comp, cm); Densidade linear radicular (DLR, cm cm⁻³); Conjunto de atributos biológicos do solo Carbono da Biomassa Microbiana (BMS, mg C kg⁻¹); Quociente microbiano (qMic, %); Respiração basal do solo (RBS, mg C kg⁻¹ de mss h⁻¹); Quociente metabólico (qCO₂, mg C-CO₂ mg⁻¹ C BMS h⁻¹); Carbono Orgânico Total do Solo (COT, g dm⁻³); Conjunto de atributos físicos do solo: Proporção de agregados em seco na classe de 8 -2mm (A2S); Proporção de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); Proporção de agregados em úmido na classe de 2-0,250 mm (A0,250U); Proporção de agregados em úmido na classe de <0.053 mm (A <0.053U); Diâmetro médio ponderado seco (DMPs, mm); Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu, mm); Índice de estabilidade de agregados (IEA); Conjunto de atributos químicos: Potássio (K⁺ cmol_c dm⁻³); Fósforo (P mg dm⁻³); Cálcio (Ca⁺² cmol_c dm⁻³); Magnésio (Mg⁺² cmol_c dm⁻³)

4. DISCUSSÃO

4.1. PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO

A eficiência no uso da terra dos consórcios (LER_T) para os sistemas de culturas MFB (milho, feijão e berinjela), MF (milho feijão) foi de 1,6 e 1,1 respectivamente (Tabela 4), indicam que a maior riqueza de culturas incrementou a produtividade por unidade de área, produzindo 0,6 vezes mais do que as culturas em monocultura na mesma área. Este valor foi semelhante ao determinado por Cardinale et al. (2007), que em 44 experimentos com diferentes níveis de riqueza de culturas encontraram que a maior mistura de culturas produziu 0,7 vezes mais do que as culturas isoladas.

A LER_T é o resultado da contribuição da eficiência de cada cultura (LER_P) no sistema de cultura (De Wit e Van den Bergh, 1965). Assim, o milho nos consórcios contribuiu com valores de LER_P de 0,7 em BM, 0,7 em MFB, e 0,7 em MF (Tabela 4), o que significa que, embora o milho nestes sistemas de culturas tivesse 50 % do número de plantas por ha em comparação com o milho em monocultura, atingiu até 70 %, no caso do BM, do rendimento obtido por uma hectare de milho em monocultura (Tabela 4). Incrementos na produtividade do milho nos consórcios também foram encontrados em diversas pesquisas em diferentes arranjos e culturas acompanhantes (Soria et al., 1975; Tripathi e Singh, 1983; Sinoquet e Bonhomme, 1991; Li et al., 2001; Liebman e Dyck, 2007; Sharma e Banik, 2013).

Aumentos na produtividade do milho e na LER_T podem ter relação com a dominância que o milho apresentou nos diferentes sistemas de culturas em que fez parte, como MF, BM e MFB (Figura 4). Provavelmente, uma das razões esteja relacionada com a sua eficiência na interceptação de luz. Sobre isso, Sinoquet e Bonhomme (1991) indicam que a dominância das culturas nos consórcios está relacionada à morfologia das folhas e à fenologia da cultura, que para o caso do milho com folhas grandes e longas, possivelmente teria incrementado a capacidade de captar luz por todo o dossel da planta e providenciar a energia suficiente para os processos fisiológicos (Keating e Carberry, 1993; Liebman e Dyck, 2007).

Tanto o milho quanto o feijão nos diferentes sistemas de culturas em que fizeram parte (MF, MB, FB, MFB) não apresentaram limitações pelas outras culturas em relação ao crescimento da parte aérea e a produtividade em kg de produto planta⁻¹ (Tabelas 2 e 3), confirmando que as duas culturas são complementares consolidadas, produto da interação e processos de facilitação adquiridos, após mais de 6 mil anos de terem sido usadas em consórcios pelos agricultores (Postma e Lynch, 2012).

A berinjela, por sua vez, apresentou contribuições baixas de uso eficiente da terra com LER_P de 0,2 no sistema de culturas MB, 0,2 no FB e 0,1 no MFB (Tabela 4), que indicam limitações produtivas da cultura quando estava consorciada. Ao contrário do milho e do feijão, a berinjela foi a cultura dominada pelas outras duas culturas (M e F) nos diferentes sistemas de culturas em que fez parte, chegando a um índice de agressividade (A) de -3,8 no consórcio de três culturas MFB (Figura 4). Além disto, a berinjela apresentou redução na produção da matéria vegetal e na produtividade (kg de produto planta⁻¹), quando foi consorciada com o milho no sistema MB, com o feijão no sistema FB e com as duas culturas no sistema MFB, em comparação com o sistema B em monocultura (Tabelas 2 e 3). Estas reduções de produtividade e de uso eficiente da terra da B nos sistemas de cultura em consórcio, possivelmente, estejam relacionadas com as diferenças na duração do seu ciclo produtivo, em comparação às outras culturas (M e F) e também com o manejo adotado nos sistemas, que em conjunto podem ter afetado a capacidade da planta em interceptar a radiação solar e seu uso eficiente ao longo do tempo (Keating e Carberry, 1993). Com o ciclo produtivo da berinjela mais longo, é normal que nas primeiras etapas após o plantio, a planta apresente baixo desenvolvimento foliar, com reduzido aproveitamento da radiação solar e lento desenvolvimento vegetativo (Casaca, 2005; Ribeiro, 2007). Isto supõe que no manejo dos sistemas de culturas em que a berinjela fez parte ocorra uma desvantagem a essa cultura frente ao rápido crescimento do milho e do feijão nos consórcios e das plantas espontâneas, agravado ainda mais pelo arranjo em linhas do consórcio e das distâncias de plantio (60 cm x 60 cm) adotadas nos sistemas de cultura. Segundo Barillot et al. (2011), nestes arranjos predominaria a sobreposição de folhas pelos níveis de estratificação vertical, dadas as diferenças de altura das culturas consorciadas. Além disso, o hábito de crescimento das culturas, como o caso do feijão trepador e a presença de plantas espontâneas (primeiro controle feito aos 21 dias após plantio), em conjunto, podem ter impedido a entrada normal de luz solar à berinjela, reduzindo a interceptação e o uso eficiente da radiação solar nas primeiras etapas do ciclo produtivo. Neste sentido, Sinoquet e Caldwell (1995) expressaram que a competição interespecífica e o desigual acesso à luz pela cultura sombreada podem gerar sérios prejuízos para a cultura afetada, chegando a ser causa de morte. Stirling et al. (2002), pesquisadores da Universidade de Wales no Reino Unido e Sri Lanka, em estudos de consórcios e sistemas agroflorestais, encontraram limitações no desenvolvimento da berinjela causadas pela sombra de árvores. Os efeitos do desenvolvimento vegetativo da berinjela, somado ao ciclo curto do feijão, poderiam ter contribuído para que no sistema de culturas

MFB os valores dos atributos de raiz não fossem superiores aos sistemas de cultura com menos riqueza de espécies (Tabela 9), razão pela qual não permitiu-se comprovar uma das hipóteses deste trabalho em que a riqueza de espécies aumenta o desenvolvimento de raízes.

A maior competitividade do milho nos sistemas de culturas pode ser aproveitada no desenho de sistemas consorciados em que o interesse é centrado nessa cultura (Callaway, 1995). Neste caso, o milho e as outras culturas como o feijão e a berinjela facilitariam recursos e lhe prestariam benefícios adicionais como: controle de erosão, supressão de plantas espontâneas e melhoramento da fertilidade do solo (Callaway, 1995; Liebman e Dyck, 2007); ou benefícios econômicos, como o caso da berinjela. que apesar de ter apresentando dificuldades para adaptação nos consórcios, foi a cultura que gerou maior Receita Bruta por venda de produto nos sistemas de culturas em que fez parte (Tabela 5).

4.2. QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE CULTURAS SOB MANEJO ORGÂNICO

O indicador Geral de Qualidade do Solo (GISQ) deu valor aos atributos do solo, segundo a sua contribuição na ACP. Os atributos químicos foram os que mais contribuíram para o GISQ, de forma que o subindicador QUIM teve peso 2,4 seguido pelos atributos biológicos com peso de 2,1 no subindicador BIOL. os atributos de raiz com peso de 1,9 no subindicador RAIZ e os atributos físicos com peso de 1,7 para o subindicador FISIC (Tabela 7). Embora se tenha uma organização hierárquica por ordem de importância com química > biologia > raiz > física, provavelmente a melhor condição química no solo seja só uma consequência da dinâmica dos demais atributos, promovida pela riqueza de culturas presente nos sistemas de culturas com grau crescente de riqueza. A respeito, Beare et al. (1995) mencionam que a reorganização dos atributos no solo é produto da riqueza de espécies vegetais. Vezzani e Mielniczuk (2009) fazem referência aos efeitos da diversidade de plantas como fator promotor da biota do solo, que em conjunto interagem e estimulam os outros componentes do sistema solo. No sistema solo, a parceria solo-planta garante o fluxo de energia e matéria no ecossistema, principalmente através das raízes e da parte aérea da planta, gerando dinâmicas nos diferentes atributos do solo (Vezzani e Mielniczuk, 2009). Assim, sobre a abordagem da interação solo-planta, as raízes configuram-se como as grandes protagonistas na qualidade do solo neste estudo, por serem os principais fatores dinamizadores dos demais atributos no sistema, embora tenham ocupado o terceiro lugar em peso na contribuição do GISQ (Tabela 7).

Apesar da condição de baixa fertilidade do solo em que foi conduzido o experimento (Tabela 1), destaca-se o incremento dos diferentes atributos de raízes entre as duas avaliações, aos 35 e 94 DAG (Tabela 9). O que demonstra a sensibilidade da raiz na formação de pelos radiculares e raízes laterais ante ambientes de baixa concentração de nutrientes (López-Bucio et al., 2003). E por sua vez, as raízes podem ter causado diferentes efeitos nos atributos biológicos e físicos do solo, dependendo do sistema de cultura estabelecido. Os trabalhos de Day et al. (2003) e Schenk (2006) relatam que solos com baixos níveis de fertilidade promoveram as interações de facilitação e complementariedade entre as raízes, favorecendo a expressão de atributos biológicos, físicos e químicos do solo.

Aos 94 DAG, sistemas de cultura B, BM, FB e MFB atingiram desempenhos destacados em três dos quatro subindicadores (Tabela 6). Nestes sistemas de culturas, as raízes podem ter desempenhado um papel central para o desenvolvimento dos atributos de biologia, física e química do solo. As relações e correlações entre os atributos de raiz e os biológicos com valores de correlação *pairwise* de 491 entre a área superficial radicular (Asr) e o coeficiente microbiano qMic, e de 467 entre a densidade linear de raiz (DLR) e o qMic (Figura 10 e Tabela 12) confirmam a ação das raízes nos atributos biológicos, conforme evidenciou Atkinson (2000). A DLR, que indica a distribuição espacial da raiz no solo, tem relação com a absorção de água e nutrientes, e a Asr, que indica a área de contato com o solo, aponta a potencial interação com microrganismos (Atkinson, 2000). A interação da raiz com os microrganismos é estabelecida através da rizodeposição, que pode atingir de 40 a 60 % dos compostos de C elaborados pela fotossíntese. (Keiluweit et al., 2015), convertendo-se na maior fonte de C e N para os microrganismos (Blagodatskaya et al., 2007).

Os baixos conteúdos de P no solo no início do experimento (Tabela 1), possivelmente, contribuíram com o desenvolvimento radicular e de microrganismos. Estes efeitos tem sido reportados por Bates e Lynch (1996), Shane e Lambers (2005) e Gregory (2006) ao indicar o P como um dos fatores que estimula o aumento da área superficial das raízes, que por sua vez, estimula a rizodeposição, favorecendo a atividade microbiana (Chalot e Brun, 1998), encarregada da solubilização e remobilização de fosfatos (Sharma et al., 2013). Correlações entre as concentrações de P, Ca^{+2} e Mg^{+2} no solo e os atributos de raízes e biológicos do solo apresentaram-se inversas (Tabela 12), indicando que a biomassa microbiana (BMS), a respiração basal do solo (RBS) e o quociente metabólico (qCO_2) em interação com as raízes reduziram a concentração destes nutrientes no solo. Esse fato pode ser entendido no sentido de que antes da redução das concentrações de nutrientes, os microrganismos estiveram

mineralizando compostos orgânicos, solubilizando e disponibilizando P e outros nutrientes, que por sua vez saíram do sistema, hipótese confirmada pelas baixas concentrações aos 94 DAG nos sistemas de culturas (Tabela 11) em relação aos 35 DAG, onde as raízes possivelmente participaram através da absorção (variável não mensurada neste experimento). A possibilidade da absorção pelas plantas pode ter acontecido entre os 35 e os 94 DAG, quando houve uma redução de 20,5 % do P no solo, passando de 10,2 para 8,1 mg de P dm⁻³ (Tabela 11), em que os sistemas de culturas M, B, MF, FB, e MFB apresentaram a menor concentração de P no solo, mas também foram os sistemas que tiveram destacado desenvolvimento de raízes (DLR e Comp, Tabela 9) e aumentos na matéria vegetal da parte aérea das plantas (Tabela 2). Em estudo de consórcios de milho e feijão com outras culturas, Xia et al. (2013) identificaram correlações positivas entre a distribuição espacial das raízes e sua densidade no solo com a capacidade de uma cultura em adquirir nutrientes e água e produzir matéria vegetal da parte aérea.

No entanto, atributos de raiz e biológicos apresentaram-se opostos aos atributos físicos e ao carbono orgânico total do solo (COT), indicando relações inversas entre eles (Figuras 5 e 10). Na correlação de *pairwise*, entre COT e Asr e DLR apresentaram valores de -520 e -499 respectivamente, e entre COT e qMic de -722 (Tabela 12), sugerindo que a redução do COT foi diretamente influenciada pela atividade da raiz e da biologia. A redução do COT induzida pelos exsudados da raiz pode ser atribuída ao efeito *priming* (Keiluweit et al., 2015). O efeito *priming* são as mudanças na decomposição da MOS que geram redução do COT como consequência da adição de substâncias orgânicas ou inorgânicas (Jenkinson et al., 1985; Kuzyakov et al., 2000; Blagodatskaya e Kuzyakov, 2008). Os pesquisadores Paterson et al. (2007), Moore-Kucera e Dick (2008) e Kuzyakov (2010) após realizarem diversos experimentos com compostos rizodepositados e substratos orgânicos de fácil decomposição no solo, concluíram que as bactérias são o primeiro grupo em metabolizar os compostos orgânicos mais lábeis, consideradas r-estrategistas (Blagodatskaya et al., 2007), e são sucedidos por fungos, considerados k-estrategistas, cuja atividade já pode induzir um efeito *priming* no solo (Blagodatskaya e Kuzyakov, 2008).

O índice de estabilidade de agregados (IEA) correlacionou-se negativamente com a classe de agregados 8-2 mm em seco e em úmido 2-0,25 mm com valores de -658 e -626 respectivamente e o DMPs com valor de -657 (Tabela 12), estes agregados também apresentaram correlações negativas com a RBS, BMS e qMic de -502, -350 e -234 para a classe 8-2 mm e -387, -364 e -178 para a classe 2-0,25 mm respectivamente, indicando

possível interferência da atividade microbiana à estrutura física do solo, especialmente à estabilidade destes agregados. Degens e Sparling (1996) reportaram que a mineralização do COT em microagregados está relacionada com bactérias e nos macroagregados, com fungos. Os fungos e algumas bactérias gram-negativas k-estrategistas (Fontaine et al., 2003; Nottingham et al., 2009; Kuzyakov, 2010), que sucedem aos r-estrategistas, apresentam alta atividade microbiana e atividade enzimática extracelular, mantendo o efeito *priming* por cometabolismo, reduzindo, assim, o COT que encontra-se nos agregados (Blagodatskaya e Kuzyakov, 2008; Kuzyakov, 2010).

De outra parte, o IEA correlacionou-se com a baixa concentração de nutrientes no solo. Os valores de correlações entre IEA e os nutrientes K^+ , P, Ca^{+2} foram de -203, -214, -230, respectivamente (Tabela 12). Chalot e Brun (1998) e Hauggaard-Nielsen e Jensen (2005) reportaram que fungos micorrízicos ligados simbioticamente às raízes, em interconexão com plantas, foram os responsáveis pela captação de nutrientes, principalmente N e P, presentes em compostos orgânicos protegidos, associados aos minerais, condição que, conseqüentemente, geraria instabilidade nos agregados (Blagodatskaya e Kuzyakov, 2008).

O desempenho médio (0,6) no subindicador FISIC aos 35 e 94 DAG (Tabela 6) do sistema com maior diversidade de espécies MFB estaria relacionado com o menor desenvolvimento dos atributos de raízes (Tabela 9), que por sua vez, diminuíram as relações com os atributos da biologia e porem apresentou menor afetação nos atributos físicos.

Além das condições supracitadas, durante o transcurso do experimento houveram outros eventos que, possivelmente, facilitaram a ocorrência de um efeito *priming* no solo. Pode-se citar: I. o solo apresentava cobertura de aveia preta como cultura de inverno, que foi incorporada no preparo do solo; II. o preparo do solo foi intensivo, incluiu subsolagem e três passes de grade, favorecendo a exposição da matéria orgânica do solo sujeita aos efeitos do clima e da decomposição pelos microrganismos; III. composto orgânico a razão de 1 kg m^{-2} foi incorporado três semanas antes do plantio; IV. dois controles de plantas espontâneas foram feitos, o primeiro aos 8 DAG com enxada, deixando em superfície $212,3 \text{ g massa seca m}^{-2}$; e o segundo aos 65 DAG com facão, deixando em superfície $379,8 \text{ g massa seca m}^{-2}$ (dados não apresentados); V. a presença de cobertura vegetal durante todo o tempo de condução do experimento que, embora tenham sido feitos dois controles de plantas espontâneas, se tinha no momento das coletas $70,6 \text{ g massa seca m}^{-2}$ aos 35 DAG, e $323 \text{ g massa seca m}^{-2}$ aos 94 DAG (dados não apresentados).

Ao analisar os eventos I até V descritos acima junto com a dinâmica dos atributos avaliados, entre a Col⁰ e os 35 e 94 DAG se tem que: os maiores valores de RBS e qCO_2 na Col⁰ (Tabela 10) podem ter sido induzidos pelos eventos I, II e III. Estes incrementos nas taxas de respiração e consumo de energia pelos microrganismos antes do plantio, possivelmente foram estimulados pela presença de fontes de carbono de fácil degradação (Blagodatskaya et al., 2007). O efeito destes compostos orgânicos lábeis mais a presença de raízes ativas das culturas e das plantas espontâneas podem ter estimulado a comunidade microbiana entre a Col⁰ e os 35 DAG que passou de 184,6 para 231,3 mg BMS kg⁻¹ de solo, um aumento de 25,3 % (Tabela 10), o que concorda com o aumento dos grupos de populações microbianas em função de compostos rizodepositados, encontrados por Paterson et al. (2007). Nesta avaliação aos 35 DAG, embora se tenha apresentado uma maior população e atividade microbiana, essas condições ainda não teriam afetado a agregação e estabilidade do solo, dado que sistemas como B, MF, BM, MFB aos 35 DAG apresentaram-se relacionadas com atributos físicos como as classes de macroagregados e DMPu em úmido (Figura 10), nem teriam reduzido o COT, que entre a Col⁰ e os 35 DAG não apresentou variação no teor (49,4 para 49,8 g dm⁻³, Tabela 10), condições que poderiam ter contribuído para que os subindicadores BIOL e FISIC do GISQ nos sistemas de culturas alcançaram valores médios, entre 0,5 e 0,7 aos 35 DAG (Tabela 6). Neste sentido, a atividade dos organismos r-estrategistas em presença de fontes de C lábil podem induzir um efeito *priming* aparente, com aumento do metabolismo e o *turnover* do C microbiano, mas que ainda não envolve dinâmicas de C protegido no interior dos agregados (Guggenberger et al., 1999; Blagodatskaya et al., 2007)

Entre os 35 e 94 DAG ocorreram as maiores mudanças. Os valores do subindicador RAIZ aumentaram em todos os sistemas de culturas (Tabela 6). O subindicador BIOL manteve valores médios entre 0,5 e 0,7 (Tabela 6), mas apresentaram-se aumentos no atributo biomassa microbiana (Tabela 10). O subindicador QUIM alcançou valores altos nos sistemas M e B e manteve valores médios para os demais sistemas de culturas (Tabela 6). Ao contrário, o subindicador FISIC, mudou de valores médios entre 0,5 e 0,6 atingidos aos 35 DAG para valores baixos a 0,2 e 0,4 nos sistemas F, B, BM, FB (Tabela 6), e o atributo COT no solo diminuiu de 49,5 para 38,5 g dm⁻³ entre os 35 e 94 DAG, respectivamente (Tabela 10). Este comportamento concorda com a sequência dos processos que induzem o efeito *priming* descrito por (Blagodatskaya e Kuzyakov, 2008; Kuzyakov, 2010; Keiluweit et al. 2015), onde os exsudados de raízes geram uma ativação de microrganismos r-estrategistas (bactérias) que

são sucedidos por microrganismos k-estrategistas (fungos, principalmente), que por sua vez aumentam a produção de enzimas extracelulares e a decomposição de MOS, e em consequência, liberam nutrientes que estão disponíveis para serem absorvidos pelas plantas.

Os eventos supracitados apresentam a evolução da organização do sistema solo entre Col⁰, 35 e 94 DAG, em função da condição de baixa fertilidade do solo, da riqueza de plantas e do manejo aplicado, isto porque, a relação solo-planta através das raízes favoreceu a função do solo de fornecer nutrientes para o desenvolvimento das plantas, a partir da mineralização de compostos orgânicos no solo, e em consequência houve a redução da estabilidade de agregados. Estes comportamentos refletiram na contribuição do peso de cada subindicador no cálculo do GISQ, onde o subindicador QUIM, apresenta a maior contribuição, seguidos pelos subindicadores BIOL e RAIZ e finalmente o subindicador FISIC com a menor (Tabela 7).

A complementariedade das culturas estudadas acima do solo foi contrária à complementariedade destas culturas no solo. Acima do solo, a berinjela foi a cultura dominada (Figura 4), apresentando redução do seu crescimento vegetativo e da produtividade (Tabelas 2 e 3), quando consorciada ao M ou ao F ou com ambas no sistema MFB, indicando limitações produtivas como cultura para ser consorciada. No entanto, por ter o maior preço de venda no mercado, a berinjela aumentou a receita bruta dos sistemas de cultura onde ela fez parte (Tabela 5). Já no solo, a berinjela apresentou um comportamento contrário, com destaque nos subindicadores RAIZ, BIOL, FISIC e QUIM (Figura 5 e Tabela 6), por tanto evidenciou-se o potencial desta espécie em favorecer o desenvolvimento de atributos biológicos, físicos e químicos no solo, a partir do seu sistema radicular e as interações com outras culturas. Aziz et al. (2011) em produção de berinjela encontraram presença de Micorrizas que estão relacionadas diretamente com agregação do solo (Tisdall e Oades, 1982) e com atividade enzimática principalmente fosfatases ácidas e alcalinas, envolvidas na ciclagem de nutrientes (Das e Varma, 2011), o que possivelmente facilitou recursos para as outras culturas nos consórcios, contribuindo para obter valores elevados do GISQ nos sistemas de cultura B, BM e FB (Tabela 8).

O feijão acima do solo apresentou um comportamento moderado e facilitador, pois foi dominado quando consorciado com o milho e com as três culturas e foi dominante no consórcio com a berinjela (Figura 4). A produtividade do feijão não foi afetada nos consórcios (Tabela 3). No solo, o feijão promoveu atributos biológicos e químicos (Tabela 6 e Figura 5), expressados principalmente aos 35 DAG por causa do ciclo de cultivo curto.

O milho foi a cultura dominante tanto acima (Figura 4) quanto no solo, aproveitando os recursos facilitados pelas outras culturas nos consórcios. E, baseado no valor mais alto de desenvolvimento alcançado nos subindicadores de RAIZ e QUIM, e valores médios nos demais subindicadores ao longo das avaliações (Tabela 6), fez com que os sistemas de culturas onde ele participou alcança-se aos 94 DAG altas pontuações no GISQ como o sistema M com valor de 1, seguido pelos sistemas BM com 0,8 e MFB com 0,7. Li e Tchelepi (2006) e Gao et al. (2010) em estudos com milho consorciado concluíram que a distribuição lateral das raízes e a maior DLR, foram os motivos pelos que o milho apresentou superioridade nos consórcios.

A metodologia do GISQ aplicada aos sistemas de cultura estudados demonstrou ter um alto nível de sensibilidade na escala em que foi desenvolvido o experimento. As análises de componentes principais (ACP) feitas com os grupos de atributos (Figuras 5 a 10) e a determinação dos subindicadores (Tabela 6) permitiram definir relações entre atributos, que em alguns dos casos não foram evidentes com o teste de Tukey a 5 % de significância, como foi o caso dos atributos físicos. Não ter diferenças pelo teste de Tukey a 5 % de significância nos atributos físicos nos sistemas de culturas (Apêndice 1) indica que estes não apresentaram modificações pelo manejo implementado no experimento. No entanto, as ACP das Figuras 8 e 10 e as correlações *pairwise* na Tabela 12, apontaram comportamentos opostos entre as classes de agregados 2-0,25 mm e o IEA, e oposição entre atributos de raízes e biológicos com atributos físicos. Estas relações foram determinantes para compreender a dinâmica no tempo dos outros atributos ao longo do experimento e o efeito no solo pelo manejo adotado.

Com as dinâmicas no tempo dos subindicadores (35 e 94 DAG) foi possível compreender os comportamentos de cada sistema de culturas no desenvolvimento dos diferentes atributos como raízes, biológicos, físicos e químicos (Tabela 6), identificando sistemas de culturas com maiores ou menores mudanças na qualidade do solo. Velásquez et al. (2012) ressaltam a capacidade dos subindicadores para resumir efeitos dos tratamentos sobre atributos e qualidade do solo. Uma das adaptações feitas à metodologia GISQ foi a não incorporação de macroinvertebrados e matéria orgânica como subindicadores. No caso deste último, o COT foi incorporado no subindicador BIOL, o que permitiu estabelecer o comportamento do C em relação à atividade dos microrganismos. Esta flexibilidade da metodologia é referida por Velasquez et al. (2007) para indicar as possibilidades de adaptação do GISQ de acordo com as características da pesquisa e o tipo de relações entre variáveis que desejam ser estudadas. O que também foi aplicado por Rousseau et al. (2013).

5. CONCLUSÕES

Não se comprovou a influência da riqueza de espécies no aumento dos atributos de raiz, mas foi observada a influência das raízes na dinâmica dos atributos biológicos, físicos e químicos do solo. As raízes relacionaram-se positivamente com atributos biológicos no aumento da biomassa microbiana, e negativamente com o COT e atributos químicos, onde o COT, P, Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+1} diminuíram sua concentração no solo entre os tempos de avaliação. A relação positiva entre raízes biomassa e atividade microbiana afetou a proporção de agregados maiores (classes 8-2 mm em seco e 2-0,250 mm em úmido) e o DMPs. Relações que foram influenciadas pelo revolvimento do solo, pela baixa fertilidade e pela presença de resíduos orgânicos (cultura de inverno, compostagem e cobertura morta de plantas espontâneas) no começo do experimento. Em consequência, o GISQ valorou os atributos que mais contribuíram com a qualidade do solo na ordem química > biologia > raiz > física, priorizando a função do solo de fornecer nutrientes para o desenvolvimento das plantas, como resultado da dinâmica dos atributos biológicos e físicos, e, principalmente das raízes, que promoveram a mineralização do carbono do solo e disponibilização de nutrientes para as plantas.

6. LITERATURA CITADA

- Agristar. Topseed sementes [Internet]. 2016. [acesso em 14-fev-2016]. Disponível em: <http://agristar.com.br/topseed-garden/>
- AGROLINK. Cotações de commodities agrícolas, com preços atualizados diariamente em todos os estados brasileiros. Preço de soja, trigo, milho, arroz, hortifruti. [Internet]. 2015. Porto Alegre - RS 2015. [acesso em 28-dez-2015]. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/cotacoes/historico/pr/feijao-preto-sc-60kg>
- Albiach MR, Bonmatí M, Canet R, García C, García A, Gíl F, Hernández MT, Ridder PJDE, Leirós MC, Lobo MC, Rad C, Sastre Conde I, Trasar C, Gonzalez F. Sobre las enzimas del suelo y sus técnicas de medida. *Edafología*. 2006;13:117–125.
- Alef K. Soil respiration. In: Alef K, Nannipieri P, organizadores. *Methods applied soil Microbiol Biochem*. Academic P. London; 1995. p. 225– 227.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves DMJL, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift*. 2013;22:711–728.
- Anderson JPE, Domsch KH. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol Biochem*. 1978;10:215–221.
- Astier M, Maass M, Etchevers J. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*. 2002;36:605– 620.
- Atkinson D. Root characteristics: Why and What to Measure. In: Smit AL, Bengough AG, Engels C, van Noordwijk M, Pellerin S, van de Geijn SC, editors. *Root Methods A Handb*. Springer-V. Berlin Heidelberg; 2000. p. 587.
- Aziz I, Ayoob M, Jite PK. Response of *Solanum melongena* L. to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi under low and high phosphate condition. *Not Sci Biol*. 2011;3:70–74.
- Bare MH, Hendrix PF, Coleman DC. Water-stable aggregates and organic matter fraction in conventional and no tillage soils. *Journal, Soil Sci Soc Am*. 1994;58:777– 786.
- Barillot R, Louarn G, Escobar-Gutierrez AJ, Huynh P, Combes D. How good is the turbid medium-based approach for accounting for light partitioning in contrasted grasslegume intercropping systems? *Ann Bot*. 2011;108:1013–1024.
- Bartlett MS. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proc R Stat Soc*. 1937;160:268–262.
- Bates TR, Lynch JP. Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability. *Plant, Cell Environ*. 1996;19:529– 538.
- Beare MH, Coleman DC, Crossley DA, Hendrix PF, Odum EP. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant Soil*. 1995;170:5–22.

Bengough AG, Castrignano A, Pagés LE, van Noordwijk M. Sampling strategies, scaling and statistics In: Smit AL, Bengough AG, Engels C, van Noordwijk M, Pellerin S, e van de Geijn SC, editors. Root methods a handbook. Heidelberg, Springer-Verlag, 2000. p. 403-460.

Betencourt E, Duputel M, Colomb B, Desclaux D, Hinsinger P. Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biol Biochem.* 2012;46:181–190.

Bigarella, J. J.; Salamuni, R. Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. *Boletim da Universidade Federal do Paraná, Instituto Geol., (7):* 1962 Curitiba.

Blagodatskaya E, Kuzyakov Y. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. *Biol Fertil Soils.* 2008;45:115 – 131.

Blagodatskaya EV, Blagodatsky SA, Anderson T-H, Kuzyakov Y. Priming effects in Chernozem induced by glucose and N in relation to microbial growth strategies. *Appl Soil Ecol.* 2007;37:95–105.

Brandão ED, Silva I de F da. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. *Ciência Rural.* 2012;42:1193–1199.

Böhm, W. Methods of studying root systems. *Ecological Studies* 33. Springer Verlag Berlin Heidelberg. New York, 1979. 190 p.

Callaway RM. Positive interactions among plants. *Bot Rev.* 1995;61:306–349.

Cardinale BJ, Wright JP, Cadotte MW, Carroll IT, Hector A, Srivastava D, Loreau M, Weis JJ. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2007;104:18123–18128.

Casaca DA. El cultivo de la berenjena 3 (*Solanum melongena*). In: Talavera JM, Flores S, Donaire AR, organizadores. *Guías Tecnológicas Frutas y Veg.* SAG, PROMO. San Jose de Costa Rica; 2005. p. 12.

Castro Filho C, Muzilli O, Podanoschi a L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev Bras Ciência do Solo.* 1998;527–538.

Chalot M, Brun A. Physiology of organic nitrogen acquisition by ectomycorrhizal fungi and ectomycorrhizas. *FEMS Microbiol Rev.* 1998;22:21–44.

Das SK, Varma A. Role of enzymes in maintaining soil health. In: Shukla G, Varma A, organizadores. *Soil Enzymol.* Springer-V. Berlin Heidelberg; 2011. p. 25 – 42.

Day KJ, John EA, Hutchings MJ. The effects of spatially heterogeneous nutrient supply on yield, intensity of competition and root placement patterns in *Briza media* and *Festuca ovina*.

Funct Ecol. 2003;17:454–463.

De Wit CT, Van den Bergh JP. Competition between herbage plants. *Nether J Agric Sc.* 1965;13:212 – 221.

Degens B, Sparling G. Changes in aggregation do not correspond with changes in labile organic C fractions in soil amended with ¹⁴C-glucose. *Soil Biol Biochem.* 1996;28:453– 462.

Elliot E. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sci Soc Am J.* 1986;50:627 – 633.

Fontaine S, Mariotti A, Abbadie L. The priming effect of organic matter: a question of microbial competition? *Soil Biol Biochem.* 2003;35:837–843.

Franco CHE. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Manual técnico. Instituto . Produmedios, organizador. Tunja Boyacá; 1998.

Gao Y, Duan A, Qiu X, Liu Z, Sun J, Zhang J, Wang H. Distribution of roots and root length density in a maize/soybean strip intercropping system. *Agric Water Manag.* Elsevier B.V.; 2010;98:199–212.

Gregory PJ. *Plant Roots Growth, Activity and Interaction with Soils.* Blackwell Igarss 2014. Oxford; 2006.

Guggenberger G, Elliott ET, Frey SD, Six J, Paustian K (1999) Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch. *Soil Biol Biochem* 31:407–19

Gupta VVSR, Germida JJ. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biol Biochem.* 1988;20:777–786.

Harris RF, Chesters G, Allen ON. Dynamics of soil aggregation. *Adv Agron.* 1966;18:107–169.

Hauggaard-Nielsen H, Jensen ES. Facilitative root interactions in intercrops. *Plant Soil.* 2005;274:237–250.

Hinsinger P, Bengough AG, Vetterlein D, Young IM. Rhizosphere: Biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. *Plant Soil.* 2009;321:117–152.

Hodge A, Berta G, Doussan C, Merchan F, Crespi M. Plant root growth, architecture and function. *Plant Soil.* 2009; 321:153-187.

IEA/CATI S-. Instituto de Economia Agrícola-IEA São Paulo, Brasil [Internet]. Preços médios mensais de venda no mercado atacadista 2015. [acesso em 20-dez-2015]. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>

Jenkinson DS, Fox RH, Rayner JH. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen—the so-called “priming” effect. *J Soil Sci.* 1985;36:425–444.

Keating BA, Carberry PS. Resource capture and use in intercropping - solar-radiation. *F Crop Res.* 1993;34:273–301.

Keiluweit M, Bougoure JJ, Nico PS, Pett-Ridge J, Weber PK, Kleber M. Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. *Nat Clim Chang.* 2015;5:588–595.

Kemper W, Rosenau R. Aggregate stability and size distribution. *Methods Soil Anal Part 1 - Phys Mineral Methods.* 1986;9:425–442.

Kuzyakov Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biol Biochem.* Elsevier Ltd; 2010;42:1363–1371.

Kuzyakov Y, Friedel JK, Stahr K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol Biochem.* 2000;32:1485–1498.

Leihner D. Yuca en cultivos asociados: manejo y evaluación. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali Colombia; 1983.

Li L, Sun J, Zhang F, Li X, Yang S, Rengel Z. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. *F Crop Res.* 2001;71:123–137.

Li L, Tchelepi HA. Conditional statistical moment equations for dynamic data integration in heterogeneous reservoirs. *SPE Reserv Eval Eng.* 2006;9:280–288.

Liebman M. Sistemas de policultivos. In: Altieri MA, organizador. *Agroecología bases científicas para una Agricultura sustentable.* Nordan- co. Montevideo; 1999. p. 190–202.

Liebman M, Dyck E. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecol Appl.* 2007;3:92–122.

López-Bucio J, Cruz-Ramírez A, Herrera-Estrella L. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Curr Opin Plant Biol.* 2003;6:280–287.

Loreau M, Hector A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature.* 2001;412:72–76.

Lynch J. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.* 1995;109:7–13.

Marques R. e Motta, ACV. Análise química do solo para fins de fertilidade. In: Lima MR, Sirtoli AE, Serrat BM, Wisniewski C, Almeida L, Machado MAM.; Marques R e Motta ACV. editores. *Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas.* 2.ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná/ Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Projeto Solo Planta, 2003. p. 81- 102.

McCully ME. Roots in soil: unearthing the complexities of roots and their rhizospheres. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 1999;50:695–718.

Merckx R, Van-Ginkel JH, Sinnaeve J, Cremers A. Plant-induced changes in the rhizosphere of maize and wheat II. Complexation of cobalt, zinc and manganese in the rhizosphere of

maize and wheat. *Plant Soil*. 1986;96:95 – 107.

Monte Serrat B, Krieger KI, Motta AC V. Considerações sobre interpretação de análise de solos (com exemplos). In: Lima MR de, editor *Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos*. UFPR setor de ciências agrárias. Curitiba; 2006. p. 341.

Monteiro RTR, Frighetto RTS. Determinação da umidade, pH e capacidade de retenção de água do solo. In: Frighetto RT, Valarini PJ, editores. *Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico*. Embrapa meio ambiente. Jaguariúna SP; 2000. p. 198.

Moore-Kucera J, Dick RP. Application of ¹³C-labeled litter and root materials for in situ decomposition studies using phospholipid fatty acids. *Soil Biol Biochem*. 2008;40:2485–2493.

Nascimento LA Do, Lingnau C, Stolle L. Diagnóstico da Reserva Legal e Área de Preservação Permanente em uma propriedade rural Estação Experimental Canguiri da Universidade Federal do Paraná. An XIII Simpósio Bras Sensoriamento Remoto. Florianópolis; 2007. p. 4081–4087

Nottingham AT, Griffiths H, Chamberlain PM, Stott AW, Tanner EVJ. Soil priming by sugar and leaf-litter substrates: a link to microbial groups. *Appl Soil Ecol*. 2009;42:183–190.

Oliveira FNS, Lima HJM, Cajazeira JP. Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos. Fortaleza CE; 2004. p 17.

Paterson E, Gebbing T, Abel C, Sim A, Telfer G. Rhizodeposition shapes rhizosphere microbial community structure in organic soil. *New Phytol*. 2007;173:600–10.

Postma JA, Lynch JP. Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Ann Bot*. 2012;110:521–534.

Raghothama KG, Karthikeyan AS. Phosphate acquisition. *Plant Soil*. 2005;274:37–49.

Regent I. WinRhizo is a complete plant root measurement and analysis systems for agricultural and forestry research. [Internet]. 2015. [acesso em 10-nov-2015]. Disponível em: http://regent.qc.ca/assets/winrhizo_software.html

Ribeiro CSC. Berinjela (*Solanum melongena* L.). In: Embrapa, editor. *Hortaliças, sistemas de Produção*. Embrapa Hortaliças. 2007.

Rincón LEC, Marina LUZ, Muñoz M. Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. *Acta Biológica Colombiana*. 2005;10:5–18.

Rousseau L, Fonte SJ, Téllez O, Van Der Hoek R, Lavelle P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecol Indic*. Elsevier Ltd; 2013;27:71–82.

Schenk HJ. Root competition: beyond resource depletion. *J Ecol*. 2006;94:725–739.

- Shane MW, Lambers H. Cluster roots: a curiosity in context. *Plant Soil*. 2005;274:101–125.
- Sharma RC, Banik P. Baby corn-legumes intercropping system: II weed dynamics and community structure. *NJAS - Wageningen J Life Sci. Royal Netherlands Society for Agriculture Sciences*; 2013;67:11–18.
- Sharma SB, Sayyed RZ, Trivedi MH, Gobi T a. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *Springerplus*. 2013;2:587.
- Sinoquet H, Bonhomme R. A theoretical analysis of radiation interception in a two-species plant canopy. *Math Biosci*. 1991;105:23–45.
- Sinoquet H, Caldwell R. Estimation of light capture and partitioning in intercropping systems. In: Sinoquet H, Cruz P, organizadores. *Ecophysiol Trop intercropping*. Paris INRA; 1995. p. 79 – 97.
- Soria J, Bazan R, Pinchinat A, Paez G, Mateo N, Moreno R. Investigación sobre sistemas de producción agrícola para el pequeño agricultor del trópico. 1975 183-293.
- Stirling CM, Rodrigo VHL, Sinclair FL, Thennakoon TMSPK, Senivirathna AMWK. Incorporating local and scientific knowledge in the adaptation of intercropping practice for smallholder rubber lands [Internet]. 2002 p.64.
- Stotzky G, Pramer D. Activity, Ecology, and Population Dynamics of Microorganisms in Soil. *Crit Rev Microbiol*. 1972;2:59–137.
- Sugamusto M. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para Elaboração de Mapa de Aptidão Agrícola e Avaliação da Adequação de Uso do Centro de Estações Experimentais do Canguiri, Município de Pinhais- Paraná. [dissertação]. Curitiba Universidade Federal de Paraná; 2002.
- Tisdall J, Oades J. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust J Soil Res*. 1979;17:429.
- Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J Soil Sci*. 1982;33:141–163.
- Tripathi B, Singh CM. Weed and fertility management using niaize/soyabean intercropping in the northwestern Himalayas. *Trop Pest Manag*. 1983;29:267 – 270.
- Vallejo-Quintero VE. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colomb For*. 2013;16:83–99.
- Velasquez E, Fonte SJ, Barot S, Grimaldi M, Desjardins T, Lavelle P. Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. *Appl Soil Ecol. Elsevier B.V*; 2012;56:43–50.
- Velasquez E, Lavelle P, Andrade M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil*

Biol Biochem. 2007;39:3066–3080.

Vezzani FM, Mielniczuk J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Rev Bras Cienc do Solo*. 2009;33:743–755.

Wacker L, Baudois O, Eichenberger-Glinz S, Schmid B. Effects of plant species richness on stand structure and productivity. *J Plant Ecol*. 2009;2:95–106.

Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM. Update on root exudation and rhizosphere biology root exudation and rhizosphere biology. *Plant Physiol*. 2003;132:44–51.

Walkley A, Black IA. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci Soc Am J*. 1934;37:29 – 38.

Weaver JE. Root development of field crops. McGraw-HIL. Weaver JE, editor. New York; 1926.

Wendling B, Jucksch I, Mendonça ES, Neves JCL. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesqui Agropecu*. 2005;40:487 – 494.

White PJ, George TS, Gregory PJ, Bengough AG, Hallett PD, McKenzie BM. Matching roots to their environment. *Ann Bot*. 2013;112:207–222.

Willey WR. Intercropping – Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstr*. 1979;32:1–10.

Xia HY, Zhao JH, Sun JH, Bao X-G, Christie P, Zhang F-S, Li L. Dynamics of root length and distribution and shoot biomass of maize as affected by intercropping with different companion crops and phosphorus application rates. *F Crop Res*. Elsevier B.V.; 2013;150:52–62.

Yoder RE. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *J Am Soc Agron*. 1936;28:337–357.

Zhang F, Li L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant Soil*. 2003;248:305–312.

Zonta E, Brasil daC F, Goi SR, da Rosa TMM. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: Fernandes SM, organizador. *Nutr Miner plantas*. Sociedade. Viçosa, MG; 2006. p. 07 – 62.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Resume ANOVA aplicado ao conjunto de atributos de raiz, biológicos, físicos e químicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos (trat) sob manejo orgânico como fator I e épocas de avaliação (Col) aos 35 e 94 DAG como fator II, e interação (Inter) entre fatores.

Atributos	Trat	Col	Inter	Trat	Coleta	Inter
	<i>p-probabilidade</i>			Significância		
Atributos de raiz						
Densidade da raiz -Der (g m ⁻³)	0,0021	<0,0001	0,0032	**	**	**
Massa seca da raiz -Msr (g)	0,0021	<0,0001	0,0032	**	**	**
Comprimento -Comp (m)	0,0281	<0,0001	0,018	*	**	*
Densidade linear radicular -DLR (cm cm ⁻³)	0,0281	<0,001	0,018	*	**	*
Densidade específica radicular -SLR (m g ⁻¹)	0,1487	0,172	0,1452	ns	ns	ns
Área superficial radicular -Asr (cm ²)	0,0272	<0,0001	0,0888	*	**	ns
Atributos biológicos do solo						
Respiração basal do solo -RBS (mg C-CO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	0,9068	0,0384	0,6487	ns	*	ns
Biomassa microbiana do solo -BMS (mg Cmic g ⁻¹)	0,3061	0,0885	0,0921	ns	ns	ns
Carbono orgânico do solo -COT (g dm ⁻³)	0,8507	<0,0001	0,9416	ns	**	ns
Quociente microbiano qMic (%)	0,8612	<0,0001	0,5913	ns	**	ns
Quociente metabólico (qCO ₂ , mg C-CO ₂ mg ⁻¹ C BMS h ⁻¹)	0,5541	0,1321	0,8573	ns	ns	ns
Atributos físicos do solo						
Classe de agregados em seco -A2S (8-2 mm)	0,9351	0,6319	0,7501	ns	ns	ns
Classe de agregados em seco -A0,250S (2-0,250 mm)	0,6621	0,3241	0,364	ns	ns	ns
Classe de agregados em seco -A0,053S (0,250-0,053 mm)	0,9928	0,4795	0,9275	ns	ns	ns
Classe de agregados em seco -A<0,053S (< 0,053 mm)	0,9842	0,0003	0,5443	*	**	ns
Classe de agregados em úmido -A2 (8-2 mm)	0,0504	0,0972	0,2958	ns	ns	ns
Classe de agregados em úmido -A0,250U (2-0,250 mm)	0,6494	0,3285	0,5101	ns	ns	ns
Classe de agregados em úmido -A0,053U (0,250-0,053mm)	0,5199	0,7381	0,729	ns	ns	ns
Classe de agregados em úmido -A<0,053U (< 0,053 mm)	0,4592	<0,0001	0,7521	ns	**	ns
Diâmetro meio ponderado seco -DMPs (mm)	0,95	0,6541	0,7814	ns	ns	ns
Diâmetro meio ponderado úmido -DMPu (mm)	0,1799	0,0658	0,7814	ns	ns	ns
Índice de estabilidade de agregados -IEA	0,3353	0,1427	0,5656	ns	ns	ns
Atributos químicos do solo						
pH CaCl ₂	0,0532	0,003	0,9682	ns	**	ns
K ⁺¹ cmol _c dm ⁻³	0,0017	<0,0001	0,7916	**	**	ns
P mg dm ⁻³	0,0053	0,0003	0,8018	**	**	ns
Al ⁺³ cmol _c dm ⁻³	0,0037	0,9846	0,786	**	*	ns
Ca ⁺² cmol _c dm ⁻³	0,0054	0,0344	0,993	**	*	ns
Mg ⁺² cmol _c dm ⁻³	0,0044	0,0003	0,9916	**	**	ns

ns não significativo, * significativo p < 0,05, ** significativo p < 0,01

APÊNDICE 2. ANOVA para os valores médios dos atributos de raiz, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2).

Densidade da raiz -Der (g m ⁻³)				
FV	GL	SQ	QM	F
Fator1(F1)	6	838501,78	139750,30	4,24 **
Fator2(F2)	1	2034185,71	2034185,71	61,78 **
Int, F1xF2	6	788822,16	131470,36	3,99 **
Massa seca da raiz -Msr (g)				
FV	GL	SQ	QM	F
Fator1(F1)	6	0,06	0,01	4,24 **
Fator2(F2)	1	0,14	0,14	61,78 **
Int, F1xF2	6	0,06	0,01	3,99 **
Comprimento -Comp (m)				
FV	GL	SQ	QM	F
Fator1(F1)	6	1562897,96	260482,99	2,68 *
Fator2(F2)	1	3937902,00	3937902,00	40,57 **
Int. F1xF2	6	1715861,37	285976,89	2,95 *
Densidade linear radicular -DLR (cm cm ⁻³)				
FV	GL	SQ	QM	F
Fator1(F1)	6	21,93	3,66	2,68 *
Fator2(F2)	1	55,27	55,27	40,57 **
Int. F1xF2	6	24,08	4,01	2,95 *
Densidade específica radicular -SLR (m g ⁻¹)				
FV	GL	SQ	QM	F
Fator1(F1)	6	0,00	0,00	1,69 ns
Fator2(F2)	1	0,00	0,00	1,93 ns
Int. F1xF2	6	0,00	0,00	1,71 ns
Área superficial radicular -Asr (cm ²)				
FV	GL	SQ	QM	F
Fator1(F1)	6	0,45	0,07	2,70 *
Fator2(F2)	1	1,52	1,52	55,20 **
Int. F1xF2	6	0,33	0,06	2,00 ns

não significativo ns,* significativo p < 0,05, ** significativo p < 0,01

APÊNDICE 3. ANOVA para os valores médios dos atributos biológicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2).

Respiração basal do solo -RBS ($\mu\text{g C-CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$)						Biomassa microbiana do solo -BMS ($\mu\text{g Cmic g}^{-1}$)					
FV	GL	SQ	QM	F	ns	FV	GL	SQ	QM	F	ns
Fator1(F1)	6	0,03	0,00	0,35	ns	Fator1(F1)	6	13165,98	2194,33	1,24	ns
Fator2(F2)	1	0,06	0,06	4,59	*	Fator2(F2)	1	5381,95	5381,95	3,05	ns
Int. F1xF2	6	0,05	0,01	0,70	ns	Int. F1xF2	6	20979,87	3496,64	1,98	ns

Carbono orgânico do solo -COT (g dm^{-3})						Quociente microbiano qMIC (%)					
FV	GL	SQ	QM	F	ns	FV	GL	SQ	QM	F	ns
Fator1(F1)	6	0,02	0,00	0,44	ns	Fator1(F1)	6	0,00	0,00	0,42	ns
Fator2(F2)	1	0,36	0,36	45,55	**	Fator2(F2)	1	0,00	0,00	31,8	*
Int. F1xF2	6	0,01	0,00	0,28	ns	Int. F1xF2	6	0,00	0,00	0,78	ns

Quociente metabólico ($\text{qCO}_2 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ C BMS h}^{-1}$)					
FV	GL	SQ	QM	F	ns
Fator1(F1)	6	1,03	0,17	0,83	ns
Fator2(F2)	1	0,49	0,49	2,36	ns
Int. F1xF2	6	0,53	0,09	0,43	ns

Não significativo ns,* significativo $p < 0,05$. ** significativo $p < 0,01$

APÊNDICE 4. ANOVA para os valores médios dos atributos físicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2)

Classe de agregados em seco 8-2 mm						Classe de agregados em úmido 8-2 mm					
FV	GL	SQ	QM	F	ns	FV	GL	SQ	QM	F	ns
Fator1(F1)	6	0,02	0,00	0,30	ns	Fator1(F1)	6	0,04	0,01	2,34	ns
Fator2(F2)	1	0,00	0,00	0,23	ns	Fator2(F2)	1	0,01	0,01	2,89	ns
Int, F1xF2	6	0,03	0,01	0,57	ns	Int, F1xF2	6	0,02	0,00	1,26	ns

Classe de agregados em seco 2-0,250 mm						Classe de agregados em úmido 2-0,250 mm					
FV	GL	SQ	QM	F	ns	FV	GL	SQ	QM	F	ns
Fator1(F1)	6	0,01	0,00	0,69	ns	Fator1(F1)	6	0,01	0,00	0,70	ns
Fator2(F2)	1	0,00	0,00	1,00	ns	Fator2(F2)	1	0,00	0,00	0,98	ns
Int, F1xF2	6	0,01	0,00	1,13	ns	Int, F1xF2	6	0,01	0,00	0,89	ns

Classe de agregados em seco 0,250-0,053 mm						Classe de agregados em úmido 0,250-0,053 mm					
FV	GL	SQ	QM	F	*	FV	GL	SQ	QM	F	ns
Fator1(F1)	6	0,00	0,00	0,12	*	Fator1(F1)	6	0,01	0,00	0,88	ns
Fator2(F2)	1	0,00	0,00	0,51	ns	Fator2(F2)	1	0,00	0,00	0,11	ns
Int, F1xF2	6	0,01	0,00	0,31	ns	Int, F1xF2	6	0,01	0,00	0,60	ns

Classe de agregados em seco < 0,053 mm						Classe de agregados em úmido < 0,053 mm					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1)	6	0,00	0,00	0,17	*	Fator1(F1)	6	0,00	0,00	0,97	ns
Fator2(F2)	1	0,00	0,00	15,09	**	Fator2(F2)	1	0,01	0,01	26,44	**
Int, F1xF2	6	0,00	0,00	0,84	ns	Int, F1xF2	6	0,00	0,00	0,57	ns
Diâmetro meio ponderado seco (DMPs)						Diâmetro meio ponderado úmido (DMPu)					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1)	6	0,30	0,05	0,26	ns	Fator1(F1)	6	0,56	0,09	1,58	ns
Fator2(F2)	1	0,04	0,04	0,20	ns	Fator2(F2)	1	0,21	0,21	3,58	ns
Int, F1xF2	6	0,60	0,10	0,53	ns	Int, F1xF2	6	0,19	0,03	0,53	ns

Não significativo ns,* significativo p < 0,05, ** significativo p < 0,01

Índice de estabilidade de agregados -IEA					
FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1)	6	0,08854	0,01476	1,1832	ns
Fator2(F2)	1	0,02788	0,02788	2,2356	ns
Int. F1xF2	6	0,06091	0,01015	0,814	ns

Não significativo ns,* significativo p < 0,05, ** significativo p < 0,01

APÊNDICE 5 ANOVA para os valores médios dos atributos químicos do solo, em análise fatorial, com os tratamentos sob manejo orgânico como fator 1 (F1) e épocas de avaliação (aos 35 e 94 DAG) como fator 2, (F2) e interação (Int) entre fatores (F1x F2).

pH. ClCa						pH. SMP					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1)	6	0,16632	0,03	2,31	ns	Fator1(F1)	6	0,08343	0,01	0,75	ns
Fator2(F2)	1	0,1201	0,12	9,99	**	Fator2(F2)	1	0,07627	0,08	4,14	*
Int. F1xF2	6	0,01585	0,00	0,22	ns	Int, F1xF2	6	0,10259	0,02	0,93	ns
K ⁺¹						P					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1)	6	0,51768	0,09	4,39	**	Fator1(F1)	6	92,80959	15,47	3,69	**
Fator2(F2)	1	0,423	0,42	21,51	**	Fator2(F2)	1	63,15502	63,16	15,06	**
Int. F1xF2	6	0,06103	0,01	0,52	ns	Int, F1xF2	6	12,6686	2,11	0,50	ns
Al ⁺²						Ca ⁺²					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1)	6	0,45141	0,08	3,91	**	Fator1(F1)	6	9,37679	1,56	3,67	**
Fator2(F2)	1	0,00001	0,00	0,00	*	Fator2(F2)	1	2,04446	2,04	4,80	*
Int. F1xF2	6	0,06059	0,01	0,52	ns	Int, F1xF2	6	0,31179	0,05	0,12	*

Não significativo ns,* significativo p < 0,05, ** significativo p < 0,01

Mg ⁺²					
FV	GL	SQ	QM	F	
Fator1(F1)	6	1.58464	0.26	3.81	**
Fator2(F2)	1	1.0405	1.04	14.99	**
Int. F1xF2	6	0.05464	0.01	0.13	*

Não significativo ns,* significativo p < 0,05, ** significativo p < 0,01

APÊNDICE 6. ANOVA para os valores médios da massa seca da parte aérea das culturas de feijão, milho e berinjela nos sistemas de cultura (trat) sob manejo orgânico em análise em blocos ao acaso, para cada época de avaliação aos 35 e 94 dias após germinação das culturas DAG.

Massa seca parte aérea feijão 35 DAG						Massa seca parte aérea feijão 94 DAG					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	200,7961	66,93203	1,7767	ns	Blocos	3	518,35034	172,78345	0,7519	ns
Trat	3	185,29742	61,76581	1,6396	ns	Trat	3	1098,4666	366,15555	1,5935	ns
Resíduo	9	339,04872	37,67208			Resíduo	9	2068,068	229,78533		
Massa seca parte aérea milho 35 DAG						Massa seca parte aérea milho 94 DAG					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	984,12962	328,0432	7,4781	**	Blocos	3	11462,935	3820,9783	0,6879	ns
Trat	3	254,58465	84,86155	1,9345	ns	Trat	3	61691,717	20563,906	3,7022	*
Resíduo	9	394,80572	43,8673			Resíduo	9	49990,402	5554,4891		
Massa seca parte aérea berinjela 35 DAG						Massa seca parte aérea berinjela 94 DAG dados transformados com log (x)					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	81,03208	27,01069	3,7055	ns	Blocos	3	0,01497	0,00499	0,229	ns
Trat	3	30,8673	10,2891	1,4115	ns	Trat	3	0,39116	0,13039	5,9822	*
Resíduo	9	65,60448	7,28939			Resíduo	9	0,19616	0,0218		

Não significativo ns, * significativo $p < 0,05$, ** significativo $p < 0,01$

APÊNDICE 7. ANOVA para os valores médios da produção de massa seca (g) de grãos de feijão e milho e frutos frescos de berinjela, nos sistemas de cultura (trat) sob manejo orgânico, em análise em blocos ao acaso.

Massa seca dos grãos do feijão						Massa seca dos grãos milho					
FV	GL	SQ	QM	F		FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	480.9579	160.3193	1.9864	ns	Blocos	3	8859.9802	2953.3267	2.7478	ns
Trat	3	166.41924	55.47308	0.6873	ns	Trat	3	9864.2732	3288.0911	3.0593	ns
Resíduo	9	726.36977	80.70775			Resíduo	9	9673.1007	1074.789		

Não significativo ns, * significativo $p < 0,05$, ** significativo $p < 0,01$

Massa fresca dos frutos berinjela dados transformados com log (x)					
FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	0.05114	0.01705	0.5123	ns
Trat	3	0.67062	0.22354	6.719	*
Resíduo	9	0.29943	0.03327		

Não significativo ns, * significativo $p < 0,05$, ** significativo $p < 0,01$

APÊNDICE 8. Produção de massa seca (g) de grãos de feijão e milho e frutos frescos de berinjela, nos sistemas de cultura sob manejo orgânico

Bloco	Sistema de cultura	Grão seco feijão		Sistema de cultura	Grão seco milho		Sistema de cultura	Fruto fresco berinjela	
		g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹		g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹		g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹
I	F	37,8	1049,7	M	99,3	3697,7	B	616,9	13709,1
II	F	21,6	600,1	M	111,5	3097,6	B	168,6	2810,0
III	F	39,4	1095,2	M	53,4	1483,8	B	638,0	17721,5
IV	F	31,8	883,2	M	180,6	5015,9	B	474,5	8259,5
I	MF	21,1	293,6	MF	109,6	1522,9	BM	114,7	1274,5
II	MF	20,2	280,1	MF	132,3	1836,9	BM	187,1	2695,8
III	MF	38,8	539,5	MF	165,7	2301,6	BM	259,5	3604,1
IV	MF	29,8	413,5	MF	226,2	3141,7	BM	232,6	2524,8
I	FB	44,4	616,1	BM	164,8	2289,3	FB	206,1	2861,9
II	FB	26,1	361,8	BM	152,7	2120,8	FB	156,7	1741,3
III	FB	25,7	356,5	BM	177,8	2468,8	FB	107,5	2301,6
IV	FB	34,5	479,8	BM	193,9	2693,1	FB	156,8	2734,0
I	MFB	44,9	1246,9	MFB	191,4	2658,3	MFB	150,6	2092,3
II	MFB	18,4	510,6	MFB	180,7	2510,3	MFB	121,3	1042,4
III	MFB	14,5	403,6	MFB	138,2	1918,9	MFB	109,3	1430,0
IV	MFB	23,4	650,2	MFB	172,9	2401,8	MFB	104,0	1155,2

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

APÊNDICE 9. Produção de massa seca (g planta⁻¹) da parte aérea de feijão, milho e berinjela, nos sistemas de cultura sob manejo orgânico para cada época de avaliação aos 35 e 94 dias após germinação das culturas- DAG.

Bloco	Sistema de cultura	Feijão		Sistema de cultura	Milho		Sistema de cultura	Berinjela	
		35 DAG	94 DAG		35 DAG	94 DAG		35 DAG	94 DAG
I	F	29,76	66,01	M	21,90	185,48	B	12,95	38,64
II	F	17,16	44,24	M	21,93	97,41	B	7,80	92,60
III	F	23,53	54,71	M	27,76	186,71	B	12,72	51,62
IV	F	23,22	53,75	M	16,01	272,32	B	5,89	72,11
I	MF	9,28	37,08	MF	17,19	209,11	BM	6,98	43,04
II	MF	11,87	26,35	MF	11,17	191,59	BM	5,81	22,98
III	MF	25,78	69,68	MF	38,94	364,45	BM	10,34	28,87
IV	MF	25,67	79,49	MF	28,24	262,65	BM	8,71	20,59
I	FB	30,88	58,19	BM	34,18	295,49	FB	12,69	34,21
II	FB	10,70	54,81	BM	12,33	467,15	FB	1,39	23,11
III	FB	18,39	47,73	BM	45,92	358,40	FB	5,60	25,81
IV	FB	24,39	54,69	BM	31,67	313,64	FB	9,29	20,42

Bloco	Sistema de cultura	Feijão	Sistema de cultura	Milho	Sistema de cultura	Berinjela			
I	MFB	14,24	47,86	MFB	36,44	181,56	MFB	9,95	31,43
II	MFB	13,25	31,66	MFB	18,06	323,41	MFB	3,02	17,72
III	MFB	13,52	37,49	MFB	39,38	249,44	MFB	6,36	26,78
IV	MFB	16,24	22,19	MFB	27,89	237,28	MFB	4,68	31,19

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

APÊNDICE 10. Atributos de raiz: Massa seca de raiz (Ms_r, g); Densidade da raiz (Der, g m⁻³); Área superficial radicular (As_r, cm²); Comprimento (Comp, cm); Densidade linear radicular (DLR, cm cm⁻³); Densidade específica radicular (SLR, cm g⁻¹), dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Bloco	Sistema de cultura	DAG	Ms _r	Der	Comp	DLR	SLR	As _r
I	F	35	0,08	301,95	324,82	1,22	0,02	1,43
II	F	35	0,07	266,74	447,74	1,68	0,02	1,50
III	F	35	0,23	848,91	1.232,82	4,62	0,02	2,00
IV	F	35	0,09	341,66	529,35	1,98	0,02	1,62
I	F	94	0,07	275,73	495,93	1,86	0,01	1,58
II	F	94	0,10	388,12	771,29	2,89	0,01	1,77
III	F	94	0,10	373,13	630,37	2,36	0,02	1,67
IV	F	94	0,14	533,47	896,35	3,36	0,02	1,86
I	M	35	0,12	440,06	532,16	1,99	0,02	1,64
II	M	35	0,08	294,08	473,90	1,78	0,02	1,54
III	M	35	0,19	703,93	650,46	2,44	0,03	1,82
IV	M	35	0,09	322,18	472,12	1,77	0,02	1,56
I	M	94	0,33	1.230,41	1.670,85	6,26	0,02	2,18
II	M	94	0,33	1.226,91	1.879,37	7,04	0,02	2,23
III	M	94	0,43	1.606,04	1.715,82	6,43	0,02	2,20
IV	M	94	0,23	858,28	1.417,37	5,31	0,02	2,11
I	B	35	0,16	582,55	839,79	3,15	0,02	1,85
II	B	35	0,09	321,81	694,47	2,60	0,01	1,67
III	B	35	0,08	295,58	478,46	1,79	0,02	1,55
IV	B	35	0,05	180,20	284,74	1,07	0,02	1,33
I	B	94	0,17	633,12	659,56	2,47	0,03	1,77
II	B	94	0,25	945,56	944,72	3,54	0,03	1,95
III	B	94	0,20	731,28	860,03	3,22	0,02	1,89
IV	B	94	0,18	672,83	1.133,57	4,25	0,02	1,96
I	MF	35	0,13	478,40	899,73	3,37	0,01	1,82
II	MF	35	0,08	312,82	917,79	3,44	0,01	1,79
III	MF	35	0,08	300,45	463,25	1,74	0,02	1,61
IV	MF	35	0,12	433,45	658,95	2,47	0,02	1,71

Bloco	Sistema de cultura	DAG	Msr	Der	Comp	DLR	SLR	Asr
I	MF	94	0,25	952,68	1326,09	4,97	0,02	2,08
II	MF	94	0,20	766,49	1046,25	3,92	0,02	1,95
III	MF	94	0,18	673,58	1076,02	4,03	0,02	1,95
IV	MF	94	0,09	321,06	2709,27	10,15	0,00	2,66
I	BM	35	0,06	222,16	481,60	1,80	0,01	1,53
II	BM	35	0,09	334,17	582,27	2,18	0,02	1,63
III	BM	35	0,14	531,97	876,17	3,28	0,02	1,82
IV	BM	35	0,15	570,94	574,43	2,15	0,03	1,68
I	BM	94	0,19	698,31	1120,97	4,20	0,02	1,95
II	BM	94	0,19	729,03	1040,94	3,90	0,02	1,95
III	BM	94	0,32	1208,55	1259,84	4,72	0,03	2,24
IV	BM	94	0,28	1051,96	1675,17	6,28	0,02	2,18
I	FB	35	0,13	471,28	576,79	2,16	0,02	1,69
II	FB	35	0,04	155,85	285,24	1,07	0,01	1,34
III	FB	35	0,09	330,80	596,50	2,23	0,01	1,64
IV	FB	35	0,07	279,10	527,47	1,98	0,01	1,58
I	FB	94	0,18	687,45	1090,28	4,08	0,02	1,99
II	FB	94	0,24	916,72	1299,11	4,87	0,02	2,06
III	FB	94	0,23	856,78	1081,88	4,05	0,02	1,95
IV	FB	94	0,16	609,15	817,21	3,06	0,02	1,90
I	MFB	35	0,07	271,98	425,97	1,60	0,02	1,53
II	MFB	35	0,12	439,44	868,63	3,25	0,01	1,86
III	MFB	35	0,19	728,65	1058,38	3,96	0,02	1,93
IV	MFB	35	0,11	425,58	762,68	2,86	0,01	1,75
I	MFB	94	0,24	891,99	1139,42	4,27	0,02	1,98
II	MFB	94	0,13	502,00	624,15	2,34	0,02	1,74
III	MFB	94	0,24	902,86	1161,37	4,35	0,02	2,02
IV	MFB	94	0,16	616,27	823,48	3,08	0,02	1,87

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

APÊNDICE 11. Atributos biológicos do solo: Respiração basal do solo (RBS, mg C kg⁻¹ de mss h⁻¹); Biomassa Microbiana (BMS, mg C kg⁻¹); Carbono Orgânico Total do Solo (COT, g dm⁻³); Quociente microbiano (qMic, %); Quociente metabólico qCO₂, (mg C-CO₂ mg⁻¹ C BMS h⁻¹); dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Bloco	Sistema de cultura	DAG	RBS	BMS	COT	COT transformado sen (x)	qMic	qCO ₂
I	F	35	0,25	138,07	37,20	0,60	0,37	1,81

Bloco	Sistema de cultura	COT transformado						
		DAG	RBS	BMS	COT	sen (x)	qMic	qCO ₂
II	F	35	0,35	177,45	64,00	0,90	0,28	1,95
III	F	35	0,43	236,71	45,80	0,72	0,52	1,80
IV	F	35	0,45	266,06	44,40	0,70	0,60	1,68
I	F	94	0,48	258,30	33,10	0,55	0,78	1,88
II	F	94	0,50	173,16	45,80	0,72	0,38	2,88
III	F	94	0,28	214,63	41,50	0,66	0,52	1,33
IV	F	94	0,45	293,42	35,80	0,58	0,82	1,53
I	M	35	0,36	220,59	48,87	0,75	0,46	1,63
II	M	35	0,21	216,47	45,80	0,72	0,47	0,95
III	M	35	0,43	214,20	41,50	0,66	0,52	1,99
IV	M	35	0,45	231,11	59,30	0,86	0,39	1,93
I	M	94	0,44	228,79	33,50	0,55	0,69	1,96
II	M	94	0,39	169,68	34,40	0,56	0,49	2,29
III	M	94	0,36	236,71	30,30	0,50	0,78	1,53
IV	M	94	0,58	279,96	35,80	0,58	0,78	2,07
I	B	35	0,24	137,30	42,90	0,68	0,32	1,75
II	B	35	0,23	168,69	41,50	0,66	0,41	1,33
III	B	35	0,45	205,44	41,50	0,66	0,50	2,18
IV	B	35	0,40	237,07	54,80	0,82	0,43	1,68
I	B	94	0,65	321,23	31,70	0,53	1,01	2,01
II	B	94	0,41	200,94	35,80	0,58	0,56	2,04
III	B	94	0,29	288,24	31,70	0,53	0,91	0,99
IV	B	94	0,52	267,47	34,40	0,56	0,78	1,95
I	MF	35	0,28	267,10	40,10	0,64	0,67	1,05
II	MF	35	0,38	164,83	37,20	0,60	0,44	2,29
III	MF	35	0,52	248,05	80,20	0,99	0,31	2,11
IV	MF	35	0,50	357,41	54,80	0,82	0,65	1,40
I	MF	94	0,54	269,45	26,20	0,44	1,03	2,01
II	MF	94	0,46	154,07	41,50	0,66	0,37	3,00
III	MF	94	0,52	237,97	40,10	0,64	0,59	2,17
IV	MF	94	0,38	326,52	33,10	0,55	0,99	1,17
I	BM	35	0,22	170,19	42,90	0,68	0,40	1,31
II	BM	35	0,50	231,85	42,90	0,68	0,54	2,14
III	BM	35	0,43	229,32	94,10	1,00	0,24	1,86
IV	BM	35	0,50	404,93	42,90	0,68	0,94	1,24
I	BM	94	0,60	304,92	31,70	0,53	0,96	1,97
II	BM	94	0,34	178,57	45,80	0,72	0,39	1,93
III	BM	94	0,19	226,90	35,80	0,58	0,63	0,84
IV	BM	94	0,40	344,71	41,50	0,66	0,83	1,16
I	FB	35	0,17	146,02	56,30	0,83	0,26	1,19

Bloco	Sistema de cultura	DAG	RBS	BMS	COT	COT transformado		
						sen (x)	qMic	qCO ₂
II	FB	35	0,34	195,41	42,90	0,68	0,46	1,74
III	FB	35	0,31	266,18	48,80	0,75	0,55	1,18
IV	FB	35	0,43	285,39	47,30	0,73	0,60	1,51
I	FB	94	0,50	319,77	33,10	0,55	0,97	1,55
II	FB	94	0,61	218,86	41,50	0,66	0,53	2,78
III	FB	94	0,25	278,05	37,20	0,60	0,75	0,90
IV	FB	94	0,52	323,43	34,40	0,56	0,94	1,59
I	MFB	35	0,32	186,80	44,40	0,70	0,42	1,70
II	MFB	35	0,58	257,49	44,40	0,70	0,58	2,25
III	MFB	35	0,39	297,20	51,80	0,79	0,57	1,32
IV	MFB	35	0,49	319,04	54,80	0,82	0,58	1,55
I	MFB	94	0,49	231,29	33,10	0,55	0,70	2,11
II	MFB	94	0,43	148,60	33,10	0,55	0,45	2,92
III	MFB	94	0,41	227,57	34,40	0,56	0,66	1,80
IV	MFB	94	0,43	302,13	37,20	0,60	0,81	1,42

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

APÊNDICE 12. Atributos físicos do solo: fração de agregados em seco na classe de 8 -2 mm; fração de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm); fração de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); fração de agregados em seco na classe de < 0,053 mm (< 0,053S); Índice de estabilidade de agregados (IEA); dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Bloco	Sistema de cultura	DAG	Sistema de cultura				Soma
			8-2mm	2-0.25 mm	0,250- 0,053	<0,053	
			.....g.....				
I	F	35	27,87	19,60	2,16	0,37	50,00
II	F	35	13,65	23,39	11,27	1,69	50,00
III	F	35	13,18	24,68	10,11	2,05	50,02
IV	F	35	11,65	25,34	10,43	2,59	50,01
I	F	94	19,03	21,74	7,26	2,00	50,03
II	F	94	7,05	25,00	14,38	3,58	50,01
III	F	94	14,43	24,06	8,51	3,03	50,03
IV	F	94	19,82	19,51	7,19	3,50	50,02
I	M	35	15,07	23,49	9,47	1,98	50,01
II	M	35	14,98	24,94	8,39	1,69	50,01
III	M	35	13,45	23,75	10,79	2,03	50,01

Bloco	Sistema de cultura						Soma
	DAG	8-2mm	2-0.25 mm	0,250- 0.053	<0,053		
IV	M	35	16,79	21,78	9,22	2,21	50,01
I	M	94	15,17	23,67	8,56	2,61	50,01
II	M	94	12,21	24,32	11,12	2,35	50,00
III	M	94	15,20	24,33	7,90	2,57	50,01
IV	M	94	18,09	22,35	6,66	2,91	50,02
I	B	35	29,26	18,35	2,22	0,16	50,00
II	B	35	13,83	24,16	9,83	2,20	50,02
III	B	35	17,46	21,83	8,63	2,05	49,98
IV	B	35	17,87	20,37	9,46	2,30	50,00
I	B	94	12,41	24,38	10,67	2,55	50,01
II	B	94	10,70	25,45	10,89	2,97	50,01
III	B	94	17,30	23,40	7,24	2,09	50,03
IV	B	94	19,14	22,09	5,69	3,10	50,01
I	MF	35	21,18	23,73	4,52	0,58	50,03
II	MF	35	19,52	22,05	6,92	1,51	50,00
III	MF	35	14,36	22,71	10,73	2,18	49,98
IV	MF	35	11,77	22,41	13,41	2,41	49,99
I	MF	94	10,01	25,01	11,50	3,50	50,02
II	MF	94	16,50	23,79	7,64	2,08	50,02
III	MF	94	20,80	23,18	4,76	1,28	50,02
IV	MF	94	12,30	25,67	8,54	3,51	50,01
I	BM	35	19,96	24,43	4,62	1,01	50,01
II	BM	35	11,12	24,56	11,43	2,91	50,02
III	BM	35	16,55	21,30	9,82	2,26	49,93
IV	BM	35	12,00	22,78	12,24	3,00	50,01
I	BM	94	10,59	25,77	11,39	2,27	50,01
II	BM	94	18,33	23,86	5,87	1,94	50,00
III	BM	94	23,10	20,34	4,92	1,66	50,02
IV	BM	94	16,17	23,43	6,84	3,57	50,01
I	FB	35	21,26	23,85	4,06	0,83	50,00
II	FB	35	11,68	24,55	11,47	2,34	50,04
III	FB	35	14,86	22,56	10,33	2,26	50,00
IV	FB	35	11,69	23,86	11,61	2,84	49,99
I	FB	94	12,07	22,79	11,94	3,20	50,01
II	FB	94	12,33	23,96	10,52	3,19	50,00
III	FB	94	15,74	24,62	7,90	1,73	50,00
IV	FB	94	14,93	27,53	5,07	2,50	50,02
I	MFB	35	21,93	22,35	4,93	0,85	50,06
II	MFB	35	11,52	27,14	9,38	2,00	50,04
III	MFB	35	16,18	22,43	9,43	1,98	50,02
IV	MFB	35	9,88	23,75	13,17	3,21	50,01

Bloco	Sistema de cultura	DAG	8-2mm	2-0,25 mm	0,250- 0,053	<0,053	Soma
I	MFB	94	10,33	26,46	10,22	2,99	50,00
II	MFB	94	14,63	23,12	9,69	2,58	50,01
III	MFB	94	23,07	20,67	4,95	1,35	50,02
IV	MFB	94	22,08	19,65	5,87	2,43	50,02

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB.

APÊNDICE 13. Atributos físicos do solo: fração de agregados em úmido na classe de 8 -2 mm; fração de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm); fração de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); fração de agregados em seco na classe de < 0,053 mm (< 0,053S); Diâmetro médio ponderado seco (DMPs), Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu mm) Índice de estabilidade de agregados (IEA); dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Bloco	Sistema de cultura	DAG	8-2mm	2-0,25 mm	0,250-0,053 mm	<0,053 mm	Soma ¹	DMPs	DMPu	IEA
					g			mm		
I	F	35	10,91	26,45	7,88	0,37	45,61	3,23	1,87	0,58
II	F	35	10,80	21,62	12,47	1,69	46,57	1,93	1,72	0,89
III	F	35	11,87	23,41	10,09	2,05	47,43	1,90	1,84	0,97
IV	F	35	9,34	23,93	10,84	2,59	46,70	1,77	1,61	0,91
I	F	94	10,91	22,72	11,26	2,00	46,88	2,41	1,75	0,72
II	F	94	6,23	22,61	14,77	3,58	47,19	1,31	1,25	0,95
III	F	94	6,79	22,55	14,81	2,51	46,66	2,01	1,32	0,66
IV	F	94	10,99	22,32	9,74	3,50	46,55	2,44	1,75	0,72
I	M	35	12,68	22,54	9,96	1,98	47,16	2,07	1,92	0,93
II	M	35	12,14	23,61	9,72	1,69	47,16	2,09	1,88	0,90
III	M	35	12,34	22,47	10,71	2,03	47,54	1,91	1,86	0,98
IV	M	35	13,57	21,54	9,46	2,21	46,78	2,20	2,00	0,91
I	M	94	12,15	22,33	9,70	2,63	46,80	2,08	1,87	0,90
II	M	94	11,15	23,34	10,39	2,35	47,22	1,80	1,77	0,98
III	M	94	12,15	22,33	9,70	2,63	46,80	2,09	1,87	0,89
IV	M	94	13,15	21,33	9,01	2,91	46,39	2,33	1,97	0,84
I	B	35	10,76	29,18	6,60	0,16	46,70	3,35	1,88	0,56
II	B	35	10,09	23,55	10,84	2,20	46,69	1,96	1,68	0,86
III	B	35	14,65	21,44	9,38	2,05	47,51	2,27	2,08	0,92
IV	B	35	14,12	20,67	10,04	2,30	47,13	2,27	2,03	0,89
I	B	94	10,09	22,75	11,48	2,55	46,87	1,82	1,66	0,91
II	B	94	8,70	23,62	12,01	2,97	47,30	1,68	1,52	0,91

Bloco	Sistema de cultura		8-	2-0.25	0,250-	<0,053	Soma ¹	DMPs	DMPu	IEA
	DAG		2mm	mm	0,053 mm	mm				
III	B	94	13,42	22,61	8,70	2,09	46,83	2,28	2,01	0,88
IV	B	94	6,80	25,91	9,91	3,10	45,71	2,43	1,42	0,58
I	MF	35	12,01	26,90	6,93	0,58	46,42	2,67	1,97	0,74
II	MF	35	16,64	20,94	7,89	1,51	46,98	2,47	2,30	0,93
III	MF	35	12,34	21,26	11,38	2,18	47,16	1,98	1,85	0,94
IV	MF	35	9,96	21,45	12,80	2,41	46,62	1,72	1,63	0,95
I	MF	94	8,54	23,68	11,51	3,50	47,24	1,60	1,51	0,94
II	MF	94	12,48	23,49	9,14	2,08	47,20	2,21	1,91	0,87
III	MF	94	12,15	25,80	7,32	1,28	47,43	2,62	1,92	0,73
IV	MF	94	9,68	23,07	10,33	3,51	46,59	1,83	1,63	0,89
I	BM	35	17,25	24,23	4,56	1,01	47,05	2,56	2,43	0,95
II	BM	35	12,27	23,11	9,29	2,09	46,75	1,70	1,90	1,12
III	BM	35	12,25	21,30	10,89	2,26	46,70	2,17	1,86	0,86
IV	BM	35	7,30	23,80	12,41	3,00	46,51	1,75	1,40	0,80
I	BM	94	8,91	22,10	13,37	2,27	46,64	1,67	1,53	0,92
II	BM	94	7,11	30,12	8,09	1,94	47,26	2,39	1,50	0,63
III	BM	94	12,08	24,60	7,84	1,66	46,17	2,78	1,93	0,70
IV	BM	94	9,84	22,74	9,66	3,57	45,81	2,17	1,67	0,77
I	FB	35	9,49	27,97	7,54	0,83	45,82	2,68	1,75	0,65
II	FB	35	10,35	24,13	10,04	1,97	46,49	1,75	1,73	0,99
III	FB	35	12,62	21,75	10,72	2,26	47,34	2,03	1,88	0,93
IV	FB	35	8,95	22,67	11,87	2,84	46,32	1,74	1,56	0,89
I	FB	94	9,74	20,73	13,29	3,20	46,97	1,76	1,58	0,90
II	FB	94	11,00	23,23	10,02	2,48	46,73	1,81	1,77	0,98
III	FB	94	12,62	23,49	8,62	1,73	46,46	2,15	1,96	0,91
IV	FB	94	10,64	25,46	8,15	2,50	46,75	2,13	1,78	0,84
I	MFB	35	16,93	23,19	6,31	0,85	47,28	2,71	2,36	0,87
II	MFB	35	10,61	24,62	10,03	2,00	47,26	1,79	1,74	0,97
III	MFB	35	13,68	21,07	10,17	1,98	46,89	2,15	2,00	0,93
IV	MFB	35	7,80	22,91	13,37	3,21	47,29	1,56	1,41	0,90
I	MFB	94	8,61	25,72	11,00	2,99	48,32	1,66	1,53	0,92
II	MFB	94	12,70	23,41	8,70	2,26	47,07	2,01	1,94	0,96
III	MFB	94	15,49	23,01	6,77	1,35	46,62	2,79	2,24	0,80
IV	MFB	94	14,01	21,51	8,32	2,43	46,26	2,67	2,07	0,77

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. ¹ Soma das classes valores sem umidade.

APÊNDICE 14. Atributos químicos do solo: pH (CaCl₂); Fósforo (P, mg dm⁻³); Alumínio (Al⁺³, cmol_c dm⁻³); Cálcio (Ca⁺², cmol_c dm⁻³); Magnésio (Mg⁺², cmol_c dm⁻³) e Potássio (K⁺, cmol_c dm⁻³) dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Bloco	Sistema de cultura		pH	^a pH	K ⁺¹	^b K ⁺¹	P	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	^c Mg ⁺²
	DAG	cultura									
I	F	35	5,33	0,36	0,43	1,63	13,30	0,20	7,30	3,80	0,29
II	F	35	5,25	0,36	0,49	1,69	9,90	0,29	6,60	3,20	0,25
III	F	35	5,36	0,36	0,14	1,15	9,00	0,14	6,40	3,50	0,27
IV	F	35	5,22	0,36	0,26	1,41	10,40	0,37	5,70	3,30	0,26
I	F	94	5,38	0,37	0,32	1,51	13,00	0,05	6,90	3,80	0,29
II	F	94	5,17	0,36	0,12	1,08	5,60	0,30	6,20	3,30	0,26
III	F	94	5,17	0,36	0,12	1,08	9,90	0,19	6,10	3,00	0,24
IV	F	94	5,14	0,36	0,17	1,23	9,00	0,22	5,90	3,00	0,24
I	M	35	5,15	0,36	0,16	1,21	7,67	0,47	5,50	3,03	0,24
II	M	35	5,19	0,36	0,18	1,26	10,60	0,32	6,80	3,00	0,24
III	M	35	5,10	0,35	0,16	1,20	6,20	0,67	4,40	2,90	0,23
IV	M	35	5,17	0,36	0,15	1,18	6,20	0,43	5,30	3,20	0,25
I	M	94	5,03	0,35	0,10	0,99	5,67	0,50	5,10	2,80	0,22
II	M	94	5,07	0,35	0,07	0,85	6,20	0,40	5,90	2,90	0,23
III	M	94	4,94	0,35	0,10	1,00	4,40	0,76	4,10	2,60	0,21
IV	M	94	5,08	0,35	0,12	1,08	6,40	0,35	5,30	2,90	0,23
I	B	35	5,50	0,37	0,36	1,56	12,00	0,00	6,80	3,70	0,28
II	B	35	5,26	0,36	0,16	1,20	9,50	0,19	7,00	3,10	0,25
III	B	35	5,27	0,36	0,16	1,20	9,70	0,30	5,70	3,40	0,27
IV	B	35	5,18	0,36	0,17	1,23	6,00	0,28	5,10	3,40	0,27
I	B	94	5,55	0,37	0,37	1,57	11,10	0,08	6,50	3,80	0,29
II	B	94	5,12	0,35	0,19	1,28	8,10	0,37	6,20	3,10	0,25
III	B	94	5,10	0,35	0,15	1,18	10,10	0,25	5,60	2,90	0,23
IV	B	94	4,96	0,35	0,10	1,00	5,60	0,58	5,30	2,90	0,23
I	MF	35	5,40	0,37	0,25	1,40	14,80	0,10	7,50	3,90	0,30
II	MF	35	4,98	0,35	0,21	1,32	9,20	0,74	5,30	2,70	0,22
III	MF	35	5,18	0,36	0,24	1,38	12,00	0,43	5,80	3,30	0,26
IV	MF	35	5,27	0,36	0,29	1,46	9,20	0,24	6,40	3,50	0,27
I	MF	94	5,43	0,37	0,12	1,08	10,40	0,00	6,10	3,70	0,28
II	MF	94	5,02	0,35	0,20	1,30	6,40	0,55	5,20	2,90	0,23
III	MF	94	5,01	0,35	0,13	1,11	7,50	0,45	5,30	2,60	0,21
IV	MF	94	5,10	0,35	0,20	1,30	7,90	0,26	6,00	3,00	0,24
I	BM	35	5,26	0,36	0,48	1,68	17,30	0,11	7,00	3,70	0,28
II	BM	35	5,11	0,35	0,26	1,41	8,60	0,43	6,80	3,20	0,25
III	BM	35	5,43	0,37	0,18	1,26	8,60	0,19	7,60	4,20	0,31
IV	BM	35	5,33	0,36	0,45	1,65	13,00	0,14	6,30	3,70	0,28
I	BM	94	5,50	0,37	0,38	1,58	11,13	0,00	7,20	4,00	0,30
II	BM	94	5,17	0,36	0,22	1,34	8,30	0,28	5,90	3,10	0,25
III	BM	94	5,10	0,35	0,12	1,08	11,80	0,25	6,90	3,00	0,24
IV	BM	94	5,17	0,36	0,21	1,32	8,60	0,18	6,30	3,20	0,25
I	FB	35	5,45	0,37	0,66	1,82	11,50	0,11	7,70	4,00	0,30
II	FB	35	5,17	0,36	0,31	1,49	15,30	0,33	6,40	3,00	0,24

Bloco	Sistema de cultura	DAG	pH	^a pH	K ⁺¹	^b K ⁺¹	P	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	^c Mg ⁺²
III	FB	35	5,09	0,35	0,22	1,34	9,70	0,58	5,20	3,00	0,24
IV	FB	35	5,26	0,36	0,19	1,28	8,60	0,27	5,60	3,50	0,27
I	FB	94	5,50	0,37	0,19	1,28	8,10	0,00	7,30	3,90	0,30
II	FB	94	5,05	0,35	0,23	1,36	6,20	0,44	5,80	2,90	0,23
III	FB	94	5,05	0,35	0,17	1,23	9,20	0,38	5,30	2,70	0,22
IV	FB	94	5,09	0,35	0,17	1,23	7,70	0,29	5,50	2,90	0,23
I	MFB	35	5,44	0,37	0,43	1,63	11,50	0,11	8,20	4,00	0,30
II	MFB	35	5,18	0,36	0,13	1,11	10,80	0,32	6,50	3,00	0,24
III	MFB	35	5,12	0,35	0,20	1,30	5,60	0,55	4,70	3,10	0,25
IV	MFB	35	5,28	0,36	0,23	1,36	9,20	0,15	6,10	3,40	0,27
I	MFB	94	5,18	0,36	0,20	1,30	7,70	0,28	6,00	3,30	0,26
II	MFB	94	5,11	0,35	0,15	1,18	6,00	0,39	6,00	3,10	0,25
III	MFB	94	4,98	0,35	0,14	1,15	6,00	0,47	4,80	2,70	0,22
IV	MFB	94	5,17	0,36	0,20	1,30	7,90	0,17	6,30	3,10	0,25

Feijão monocultura F; milho monocultura M; berinjela monocultura B; milho consorciado com feijão MF; berinjela consorciada com milho BM; feijão consorciado com berinjela FB; milho consorciado com feijão e berinjela MFB. 1 valores sem umidade. ^a dados do pH transformados com \sqrt{x} e $\log(x)$; ^b dados do K⁺¹ transformados com $\log(x)+2$; ^c dados do Mg⁺² transformados com \sqrt{x} e $\log(x)$

APÊNDICE 15. Inercia das duas componentes principais C 1 e C 2 que explicam o 71,16% e 25,8% da variabilidade dos dados dos atributos de raiz, e o 47,78% e 31,55% da variabilidade dos dados dos atributos biológicos do solo dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Atributos de raiz			Atributos biológicos do solo		
Atributo	Inercia		Atributo	Inercia	
	C 1	C 2		C 1	C 2
Msr	1905	1008	RBS	1297	3606
Des	1905	1008	BMS	2996	295
Comp	1983	917	COT	1526	40
DLR	1983	917	qMic	4031	67
SLR	92	5844	qCO2	150	5992
Asr	2131	306			

Massa seca de raiz (Msr, g); Densidade da raiz (Der, g m⁻³); Área superficial radicular (Asr, cm²); Comprimento (Comp, cm); Densidade linear radicular (DLR, cm cm⁻³); Densidade específica radicular (SLR, cm g⁻¹); Respiração basal do solo (RBS, mg kg⁻¹ de mss h⁻¹); Biomassa Microbiana (BMS, mg C kg⁻¹); Carbono Orgânico Total do Solo (COT, g dm⁻³); Quociente microbiano (qMic, %); Quociente metabólico qCO₂. (mg C-CO₂ mg⁻¹ C BMS h⁻¹);

APÊNDICE 16. Inercia das duas componentes principais C 1 e C 2 que explicam o 56,65% e 21,06% da variabilidade dos dados dos atributos físicos do solo, e o 62,72% e 15,64% da variabilidade dos dados dos atributos químicos do solo, dos sistemas de culturas sob manejo orgânico aos 35 e 94 dias após germinação (DAG).

Atributos físicos do solo			Atributos químicos do solo		
Atributo	Inercia		Atributo	Inercia	
	C 1	C 2		C 1	C 2
A2S	1468	94	pH	1945	68
A0,25S	534	2	K ⁺¹	1274	942
A0,053S	1314	258	P	1328	0
A<0,053S	1134	33	Al ⁺³	1674	1052
A2U	597	2528	Ca ⁺²	1770	83
A0,25U	286	2230	Mg ⁺²	1901	4
A0,053U	1205	72			
A<0,053U	687	103			
DMPS	1497	102			
DMPU	867	1828			
IEA	412	2749			

Proporção de agregados em seco na classe de 8 -2mm (A2S); Proporção de agregados em seco na classe de 2-0,250 mm (A0,250S); Proporção de agregados em seco na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053S); Proporção de agregados em seco na classe de < 0,053 mm (< 0,053S); Proporção de agregados em úmido na classe de 8 -2 mm (A2U); Proporção de agregados em úmido na classe de 2-0,250 mm (A0,250U); Proporção de agregados em úmido na classe de 0,250-0,053 mm (A0,053U); Proporção de agregados em úmido na classe de <0.053 mm (<0,053U); Diâmetro médio ponderado seco (DMPS mm); Diâmetro médio ponderado úmido (DMPu mm); Índice de estabilidade de agregados (IEA); pH (CaCl₂); Potássio (K⁺, cmol_c dm⁻³), Fósforo (P, mg dm⁻³); Alumínio (Al,⁺³ cmol_c dm⁻³); Cálcio (Ca⁺²,cmol_c dm⁻³); Magnésio (Mg⁺² , cmol_c dm⁻³).

APÊNDICE 17. Correlação de pairwise entre o conjunto de atributos de raiz, biológicos, físicos e químicos do solo, nos sistemas de culturas sob manejo orgânico.

	2S	0.25S	0.053S	<0.053S	2U	0.25U	0.053U	<0.053U	DMPS	DMPU	IEA	RBS	BMS	COS	qMic	qCO ₂	Msr	Des	Comp	DLR	SLR	Asr	pH	K	P	Al	Ca	Mg
2S	1000	-727	-910	-717	476	381	-748	-467	998	619	-658	-502	-350	-10	-234	-224	-23	-23	-109	-109	127	-82	21	183	224	-66	137	61
0.25S	-727	1000	405	321	-348	82	285	113	-684	-388	476	203	147	-164	215	86	93	93	207	207	-157	190	-71	-91	-24	51	-31	-128
0.053S	-910	405	1000	646	-384	-543	817	429	-930	-550	657	498	313	185	95	252	-85	-85	-59	-59	-53	-89	73	-119	-216	55	-118	45
<0.053S	-717	321	646	1000	-513	-423	663	852	-736	-636	275	594	520	-211	480	173	209	209	337	337	-161	325	-211	-396	-445	61	-279	-201
2U	476	-348	-384	-513	1000	-325	-672	-455	476	935	262	-228	-215	89	-207	-53	-158	-158	-164	-164	-17	-170	-191	30	44	274	-113	-130
0.25U	381	82	-543	-423	-325	1000	-424	-419	413	-160	-626	-387	-364	-83	-178	-91	110	110	48	48	111	69	137	219	310	-227	286	113
0.053U	-748	285	817	663	-672	-424	1000	525	-770	-735	278	426	352	114	162	141	-37	-37	-9	-9	-48	-32	175	-117	-189	-111	-26	122
<0.053U	-467	113	429	852	-455	-419	525	1000	-490	-515	86	502	595	-308	588	10	256	256	345	345	-93	366	-163	-286	-373	1	-259	-148
DMPS	998	-684	-930	-736	476	413	-770	-490	1000	623	-657	-517	-360	-21	-233	-231	-20	-20	-101	-101	120	-74	20	190	240	-69	146	57
DMPU	619	-388	-550	-636	935	-160	-735	-515	623	1000	159	-341	-235	49	-197	-155	-102	-102	-126	-126	19	-120	-121	28	85	190	-78	-70
IEA	-658	476	657	275	262	-626	278	86	-657	159	1000	315	177	66	75	178	-60	-60	6	6	-111	-19	-86	-203	-214	243	-230	-93
RBS	-502	203	498	594	-228	-387	426	502	-517	-341	315	1000	477	-142	401	639	183	183	205	205	-4	197	-56	-211	-401	110	-302	-34
BMS	-350	147	313	520	-215	-364	352	595	-360	-235	177	477	1000	-133	773	-371	186	186	251	251	-68	268	46	-93	-63	-153	-164	22
COS	-10	-164	185	-211	89	-83	114	-308	-21	49	66	-142	-133	1000	-722	-35	-491	-491	-499	-499	-67	-520	134	307	98	56	133	209
qMic	-234	215	95	480	-207	-178	162	588	-233	-197	75	401	773	-722	1000	-253	418	418	467	467	-7	491	-71	-244	-102	-131	-215	-145
qCO₂	-224	86	252	173	-53	-91	141	10	-231	-155	178	639	-371	-35	-253	1000	31	31	-2	-2	55	-25	-100	-143	-369	251	-176	-56
Msr	-23	93	-85	209	-158	110	-37	256	-20	-102	-60	183	186	-491	418	31	1000	1000	806	806	450	825	-245	-468	-466	155	-299	-286
Des	-23	93	-85	209	-158	110	-37	256	-20	-102	-60	183	186	-491	418	31	1000	1000	806	806	450	825	-245	-468	-466	155	-299	-286
Comp	-109	207	-59	337	-164	48	-9	345	-101	-126	6	205	251	-499	467	-2	806	806	1000	1000	-166	983	-305	-511	-458	135	-254	-337
DLR	-109	207	-59	337	-164	48	-9	345	-101	-126	6	205	251	-499	467	-2	806	806	1000	1000	-166	983	-305	-511	-458	135	-254	-337
SLR	127	-157	-53	-161	-17	111	-48	-93	120	19	-111	-4	-68	-67	-7	55	450	450	-166	-166	1000	-107	53	-7	-83	52	-113	33
Asr	-82	190	-89	325	-170	69	-32	366	-74	-120	-19	197	268	-520	491	-25	825	825	983	983	-107	1000	-299	-493	-442	122	-249	-335
pH	21	-71	73	-211	-191	137	175	-163	20	-121	-86	-56	46	134	-71	-100	-245	-245	-305	-305	53	-299	1000	584	565	-840	750	931
K	183	-91	-119	-396	30	219	-117	-286	190	28	-203	-211	-93	307	-244	-143	-468	-468	-511	-511	-7	-493	584	1000	654	-440	559	615
P	224	-24	-216	-445	44	310	-189	-373	240	85	-214	-401	-63	98	-102	-369	-466	-466	-458	-458	-83	-442	565	654	1000	-574	655	536
Al	-66	51	55	61	274	-227	-111	1	-69	190	243	110	-153	56	-131	251	155	155	135	135	52	122	-840	-440	-574	1000	-769	-760
Ca	137	-31	-118	-279	-113	286	-26	-259	146	-78	-230	-302	-164	133	-215	-176	-299	-299	-254	-254	-113	-249	750	559	655	-769	1000	755
Mg	61	-128	45	-201	-130	113	122	-148	57	-70	-93	-34	22	209	-145	-56	-286	-286	-337	-337	33	-335	931	615	536	-760	755	1000

8. BIOGRAFIA DO AUTOR

Cristhian Hernandez Gamboa, filho de Calixta Gamboa Contreras e Luis Jesús Hernandez Contreras, nasceu em “El Playón” Santander, um Estado localizado ao Nordeste da Colômbia. Cresceu sob um ambiente rural-campesino que influenciou a sua formação acadêmica. Em 2003, estudou um Programa Tecnológico em Produção Agropecuária no Instituto Superior de Educação Rural (ISER) na Cidade de Pamplona. Dando continuidade aos estudos, em 2006 começou o Curso de Engenharia em Agroecologia na Corporação Universitária Minuto de Deus (UNIMINUTO) em Bogotá. Dois anos após ter terminado sua formação como profissional, iniciou uma especialização em Gestão de Recursos Naturais na Universidade Francisco José de Caldas e em 2014 começou estudos de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Brasil. Em 2016 iniciará estudos de Doutorado também em Ciências do Solo, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sob a linha de pesquisa Matéria Orgânica e Qualidade do Solo.

Ao longo da sua vida profissional teve a oportunidade de trabalhar em granjas e em plantações orgânicas de hortaliças. Durante sua passagem pela Universidade UNIMINUTO, desempenhou-se como estagiário, monitor e membro da equipe coordenadora dos projetos de Manejo Integral de Resíduos Sólidos e Agricultura Urbana. Finalizada sua graduação, formou parte da equipe docente, lecionando a disciplina de Introdução à Agroecologia. Em sua última experiência como profissional, desempenhou-se como Assessor da Rede de Conhecimento e Meio Ambiente do Serviço Nacional de Aprendizagem (SENA).