

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

JOÃO PAULO APOLARI

**Efeito da aplicação de composto orgânico sobre a qualidade do
solo cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**

Piracicaba

2015

JOÃO PAULO APOLARI

**Efeito da aplicação de composto orgânico sobre a qualidade do
solo cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.)**

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

**Tese apresentada ao Centro de Energia
Nuclear na Agricultura da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Doutor
em Ciências**

**Área de Concentração: Química na
Agricultura e no Ambiente**

**Orientadora: Prof^a Dr^a Regina Teresa Rosim
Monteiro**

Piracicaba

2015

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Apolari, João Paulo

Efeito da aplicação de composto orgânico sobre a qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) / João Paulo Apolari; orientadora Regina Teresa Rosim Monteiro. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

131 p. : il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Adubo orgânico 2. Agricultura sustentável 3. Ecologia do solo
4. Ecossistemas agrícola 5. Fertilizantes de resíduos industriais 6. Latossolos
7. Microbiologia do solo I. Título

CDU 631.89 : 633.61

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família:
meus pais Ignêz e Waldemir e minha irmã
Ana Paula.

Amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de minha fé, esperança e amor, pelo dom da vida, por me fazer enxergar nas pequenas coisas uma grandeza de ensinamentos.

A minha família, por me permitir seguir no aprimoramento de meus estudos, na busca por conhecimento, por toda ajuda e suporte em vários momentos ao longo da realização deste trabalho.

A minha querida orientadora Prof^a Dr^a Regina Teresa Rosim Monteiro, pela oportunidade, confiança, por acreditar em minhas ideias, por todo ensinamento, atenção, paciência e dedicação, por me abrir horizontes.

Ao Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Araras, permitindo a montagem e condução do experimento nas dependências do Laboratório de Agricultura Orgânica, especialmente ao Prof. Dr. Luiz Antonio Correia Margarido.

Ao Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM) na pessoa da Prof^a Dr^a Silvana Perissato Meneghin, do CCA/UFSCar, permitindo a realização das análises microbiológicas e a estagiária Regina Auxiliadora Barbosa que muito auxiliou no laboratório durante os experimentos de determinação de biomassa e respirometria microbiana.

Ao Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal pelo fornecimento das variedades de cana-de-açúcar utilizadas, além de toda ajuda com mão de obra e maquinário agrícola necessários durante a montagem do experimento e a Seção Agrícola do CCA/UFSCar pelo fornecimento de mão de obra para capina do experimento.

Ao Grupo Visafértil - Indústria e Comércio de Fertilizantes Orgânicos Ltda, pelo fornecimento do fertilizante orgânico composto.

Ao amigo Me. Ricardo Coeli Simões Coelho, pelos ensinamentos advindos de sua experiência profissional e parceria de longa data na realização, planejamento e condução deste e muitos outros experimentos de campo.

Ao amigo Dr. Hélio José Castilho, por todo apoio, atenção e colaboração, sempre contribuindo de forma pontual e significativa.

Ao então aluno de graduação do curso de Agronomia, Allan Montalbetti, por sua ajuda e disponibilidade na fase de instalação do experimento.

Aos amigos do Laboratório de Ecologia Aplicada Gislayne de Araújo Bitencourt, Gleison de Souza, Djanira R. Negrão, Joyce R. dos Santos e ao técnico Luiz Eduardo Fonseca.

Aos amigos que tanto amo, com os quais convivo, que me tornam uma pessoa melhor e me proporcionam momentos inesquecíveis.

Por fim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho, meu cordial muito obrigado!

“Importante não é ver o que ninguém nunca viu, mas sim, pensar o que ninguém nunca pensou sobre algo que todo mundo vê.”

- Arthur Schopenhauer

RESUMO

APOLARI, J. P. **Efeito da aplicação de composto orgânico sobre a qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar**. 2015. 131 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

A dinâmica ambiental possui capacidade limitada de reciclagem e a crescente utilização resíduo agroindustriais, especialmente na agricultura, pode levar a situações de poluição do solo e demais componentes ambientais. A manutenção da produtividade de ecossistemas agrícolas e naturais depende do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo, e que é responsável pela decomposição e mineralização de resíduos no mesmo. A dinâmica natural dos microrganismos do solo, em constante mudança e adaptação, os torna um indicador sensível às mudanças resultantes de diferentes práticas de manejo agrícola. Sendo assim, conhecer essas alterações e suas interferências é fundamental para identificar estratégias adequadas de manejo, apontando técnicas de utilização adequadas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de um solo agrícola, cultivado com três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), comparando a utilização de adubação mineral frente à utilização de fertilizante orgânico composto no período final de formação dos perfilhos (120 dias após o plantio). Foi implantado, em condições de campo, o cultivo de cana-de-açúcar (cana planta), utilizando as variedades RB 867515, RB 962869 e RB 855453, onde cada variedade foi cultivada de três formas distintas, sendo elas: plantio controle (CT) sem aplicação de insumos para adubação; plantio orgânico (OG) com aplicação de fertilizante orgânico; e plantio convencional (CV) com aplicação de adubação mineral, seguindo recomendações de adubação após análise química inicial do solo local. Cada parcela possuía 37 m², com 5 sulcos de 5,0 m de comprimento e espaçamento de 1,5 m entrelinhas, sendo os três sulcos centrais formando a área útil. De acordo com a variedade e o tipo de adubação, foram formados nove tratamentos: T1 86CT, T2 96CT, T3 85CT, T4 6OG, T5 96OG, T6 85OG, T7 86CV, T8 96CV e T9 85CV, com delineamento estatístico de blocos ao acaso e quatro repetições. Os parâmetros químicos do solo analisados foram macronutrientes e micronutrientes; os parâmetros microbiológicos foram carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO_2), número mais provável de fungos e bactérias do solo (NMP); e, por fim, a produtividade agrícola (t/ha). Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e à comparação das médias através do teste de Tukey (10%). Também foi realizada a análise de variância dos dados e correlação cofenética de Pearson para formação de dendogramas. Com base no período estudado, considerado como fase crítica da formação do canavial, concluiu-se que os parâmetros químicos que evidenciaram alterações no solo foram pH e os macronutrientes Mg, Al e SB, sendo os tratamentos orgânicos equivalentes e/ou melhores que os tratamentos convencionais. Para os parâmetros microbiológicos, o NMP de fungos apresentou os maiores valores nos tratamentos convencionais e controle. A produtividade agrícola não foi influenciada pelos diferentes tratamentos e insumos utilizados, independente da variedade de cana-de-açúcar utilizada. Por fim, foram observadas correlações positivas entre as variáveis CTC e quociente metabólico (qCO_2) apontando potencial melhoria da qualidade do solo, com o emprego de insumos orgânicos.

Palavras-chave: Biomassa microbiana. qCO_2 . Respirometria. Fertilizante. IQS.

ABSTRACT

APOLARI, J. P. Effect of the application of organic compost on the soil quality cultivated with sugarcane. 2015. 131 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

The environmental dynamics has limited recycling capacity and increasing use of agroindustrial waste, especially in agriculture, can lead to soil pollution situations and other environmental components. The maintenance of the productivity of agricultural and natural ecosystems is dependent on the transformation process of organic matter and therefore, the microbial biomass, which is responsible for the decomposition and mineralization of waste therein. The natural dynamics of soil microorganisms, constantly changing and adapting, makes them a sensitive indicator of changes resulting from different agricultural practices. So, knowing these changes and their interference is critical to identify appropriate management strategies, pointing appropriate use of techniques. The objective of this study was to evaluate the quality of an agricultural soil cultivated with three varieties of sugarcane (*Saccharum* spp.), comparing the use of mineral front fertilizer use of organic compound fertilizer at the end of training period of tillers (120 days after planting). Was deployed in field conditions, the sugarcane crop (plant cane), using the varieties RB 867515, RB 962 869 and RB 855 453, where each variety was grown in three different ways, namely: planting control (CT) without application of inputs for fertilizer; organic planting (OG) with organic fertilizer application; and conventional tillage (CV) with application of mineral fertilizer, following fertilizer recommendations after initial chemical analysis of the local soil. Each plot had 37 m², with 5 grooves of 5.0 m long and 1.5 m spacing between lines, with the three central grooves forming the floor area. According to the variety and type of fertilization, they were formed nine treatments: T1 86CT, T2 96CT, T3 85CT, T4 6OG, T5 96OG, 85OG T6, T7 86CV, T8 96CV and T9 85CV, with statistical design of randomized blocks and four replications. Chemical parameters analyzed were macronutrients and micronutrients; microbiological parameters were microbial biomass carbon (MBC), the basal soil respiration (RBS), metabolic quotient (qCO_2), most likely number of fungi and soil bacteria (NMP); and, finally, agricultural productivity (t/ha). The results were submitted to analysis of variance (ANOVA) and comparison of means by Tukey test (10%). It was also performed the analysis of variance of data and cophenetic Pearson correlation to dendograms training. Based on the study period, considered critical stage of the formation of sugarcane, it was concluded that chemical parameters showed changes in soil were pH and macronutrients Mg, Al and SB being equivalent organic treatments and/or better than those treatments conventional. For microbiological parameters, NMP fungi showed the highest values in conventional and control treatments. Agricultural productivity was not affected by the different treatments and inputs used, regardless of the variety of sugarcane used. Finally, positive correlations were observed between the CTC variables and metabolic quotient (qCO_2) indicating potential improvement of soil quality, with the use of organic inputs.

Keywords: Microbial biomass. qCO_2 . Respirometry. Fertilizer. IQS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de implantação do experimento durante fim do período de pousio, sem cobertura (pós gradagem).....	40
Figura 2. Desenvolvimento da adubação verde durante início do período de pousio	41
Figura 3. Embalagem do fertilizante orgânico composto VisaFértil®.....	42
Figura 4. Amostragem inicial da área experimental.....	43
Figura 5. Abertura dos sulcos e demarcação das parcelas da área experimental.....	45
Figura 6. Croqui da área experimental (imagem meramente ilustrativa, não está em proporção).....	47
Figura 7. Parcelas do experimento com área útil e bordaduras.....	48
Figura 8. Balanço hídrico da região no período de 2014 à 2015	52
Figura 9. Balanço hídrico da região no período de 1971 à 2015	53
Figura 10. Situação da área experimental 120 dias após o plantio.....	55
Figura 11. Coleta de solo para análise microbiológica.....	57
Figura 12. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável fósforo	67
Figura 13. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável matéria orgânica	69
Figura 14. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável pH	71
Figura 15. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável potássio.....	73
Figura 16. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável cálcio.....	75
Figura 17. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável magnésio	77
Figura 18. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável acidez potencial	79

Figura 19. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável alumínio	81
Figura 20. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável soma de bases	83
Figura 21. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável capacidade de troca catiônica.....	85
Figura 22. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável porcentagem de saturação por bases.....	87
Figura 23. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável enxofre.....	90
Figura 24. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável boro	92
Figura 25. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável cobre.....	94
Figura 26. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável ferro	96
Figura 27. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável manganês	98
Figura 28. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável zinco	100
Figura 29. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável CBM.....	102
Figura 30. Valores originais para CBM em mg C/g solo	103
Figura 31. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável RBS	105
Figura 32. Valores originais para RBS em mg CO ₂ kg/hora	106
Figura 33. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável qCO ₂	108
Figura 34. Valores originais para qCO ₂ em mg C-CO ₂ CBM/hora	109
Figura 35. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável NMP fungos	111
Figura 36. Valores originais para NMP de fungos, em UFC/g/solo.....	112

Figura 37. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável NMP bactérias.....	114
Figura 38. Valores originais para NMP de bactérias, em UFC/g/solo	115
Figura 39. Dendograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável produtividade agrícola (t/ha).....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Garantias do fertilizante orgânico composto, dados contidos na embalagem do produto	43
Tabela 2. Composição (%) do fertilizante orgânico composto, após análise em laboratório	43
Tabela 3. Composição da amostra inicial do solo, na profundidade de 0-20 cm, antes do início dos tratamentos	44
Tabela 4. Recomendação de calagem e adubação para cana-planta cultivada na área experimental	44
Tabela 5. Características das variedades RB utilizadas no experimento.....	49
Tabela 6. Precipitação e temperatura durante o período considerado do experimento	52
Tabela 7. Dados climatológicos no período de 1971 à 2015	54
Tabela 8. Resultado da análise química de solo, valores médios de parâmetros químicos e macronutrientes	64
Tabela 9. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável fósforo (P resina), com transformação $\sqrt{X}+1$	66
Tabela 10. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável matéria orgânica (M.O.), com transformação $\sqrt{X}+1$	68
Tabela 11. Resultados estatísticos da análise de variância e teste de Tukey, para a variável pH, com transformação $\sqrt{X}+1$	70
Tabela 12. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável potássio (K), com transformação $\sqrt{X}+1$	72
Tabela 13. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável cálcio (Ca), com transformação $\sqrt{X}+1$	74
Tabela 14. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável magnésio (Mg), com transformação $\sqrt{X}+1$	76
Tabela 15. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável acidez potencial (H + Al), com transformação $\sqrt{X}+1$	78

Tabela 16. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável alumínio (Al), com transformação $\sqrt{X}+1$	80
Tabela 17. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável saturação por bases (SB), com transformação $\sqrt{X}+1$	82
Tabela 18. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável capacidade de troca catiônica (CTC), com transformação $\sqrt{X}+1$	84
Tabela 19. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável porcentagem de saturação por bases (V%), com transformação $\sqrt{X}+1$	86
Tabela 20. Resultados da análise química de solo, valores médios dos micronutrientes	88
Tabela 21. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável enxofre (S), com transformação $\sqrt{X}+1$	89
Tabela 22. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável boro (B), com transformação $\sqrt{X}+1$	91
Tabela 23. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável cobre (Cu), com transformação $\sqrt{X}+1$	93
Tabela 24. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável ferro (Fe), com transformação $\sqrt{X}+1$	95
Tabela 25. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável manganês (Mn), com transformação $\sqrt{X}+1$	97
Tabela 26. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável zinco (Zn), com transformação $\sqrt{X}+1$	99
Tabela 27. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável carbono da biomassa microbiana (CBM), com transformação $\sqrt{X}+1$	101
Tabela 28. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável respiração basal do solo (RBS), com transformação $\sqrt{X}+1$	104
Tabela 29. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável quociente metabólico (qCO_2), com transformação $\sqrt{X}+1$	107
Tabela 30. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável número mais provável de fungos (NMP fungos), com transformação para logaritmo na base 10	110

Tabela 31. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável número mais provável de bactérias (NMP bactérias), com transformação para logaritmo na base 10	113
Tabela 32. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável produtividade agrícola (t/ha).....	116
Tabela 33. Análise de correlação simples de Pearson entre as variáveis estudadas	118

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	23
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	25
2.1 Desenvolvimento e meio ambiente	25
2.2 Ação antrópica, de ecossistemas à agroecossistemas.....	27
2.3 Sustentabilidade no ambiente agrícola	28
2.4 Uso do solo.....	29
2.5 Resíduos sólidos e resíduos agroindustriais.....	30
2.6 Qualidade do solo.....	34
2.6.1 Indicadores de qualidade do solo	35
2.7 Considerações sobre o setor Sucroalcooleiro e sobre as variedades RB.....	37
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 Caracterização da área de estudo	40
3.2 Preparo da área para instalação do experimento	41
3.3 Tratamentos e delineamento experimental	46
3.3.1 Descrição dos tratamentos	49
3.4 Dados climatológicos.....	52
3.5 Amostras do solo	55
3.6 Determinação da umidade do solo e capacidade de retenção de água.....	57
3.7 Determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM).....	58
3.8 Determinação da respiração basal do solo (RESP).....	60
3.9 Quociente metabólico (qCO_2)	61
3.10 Número mais provável de fungos e bactérias do solo (NMP)	61
3.11 Análise estatística dos resultados.....	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1 Macronutrientes e parâmetros químicos.....	64
4.1.1 Fósforo (P).....	65
4.1.2 Matéria orgânica (MO)	67
4.1.3 Potencial hidrogeniônico (pH).....	70
4.1.4 Potássio (K)	72
4.1.5 Cálcio (Ca).....	73
4.1.6 Magnésio (Mg).....	75
4.1.7 Acidez potencial (H+Al)	77
4.1.8 Alumínio (Al)	79

4.1.9 Soma de bases (SB)	81
4.1.10 Capacidade de troca catiônica (CTC)	84
4.1.11 Porcentagem de saturação por bases (V%)	86
4.2 Micronutrientes	87
4.2.1 Enxofre (S)	88
4.2.2 Boro (B)	91
4.2.3 Cobre (Cu)	93
4.2.4 Ferro (Fe)	95
4.2.5 Manganês (Mn)	97
4.2.6 Zinco (Zn)	99
4.3 Atributos microbiológicos	101
4.3.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM)	101
4.3.2 Respiração basal do solo (RBS)	103
4.3.3 Quociente metabólico (qCO_2)	107
4.3.4 Número mais provável de fungos e bactérias do solo (NMP)	109
4.3.4.1 NMP fungos	109
4.3.4.2 NMP bactérias	113
4.4 Produtividade agrícola	115
4.5 Correlação entre variáveis	118
4.6 Curvas de regressões entre variáveis microbiológicas	119
5. CONCLUSÕES	121
REFERÊNCIAS	122

1. INTRODUÇÃO

Tem-se observado, sobretudo nas últimas décadas, um rápido desenvolvimento da civilização, particularmente de alguns setores, dentre eles o setor agroindustrial e que, em sua grande maioria, está relacionado com a maior parte das ações antrópicas que interferem no meio ambiente. Visto que a dinâmica do ambiente possui uma capacidade limitada de depuração e reciclagem, a crescente utilização e aplicação de resíduos agroindustriais, especialmente na agricultura, pode levar a situações de deterioração e consequente poluição do solo e demais componentes ambientais.

Essas alterações, sejam em menor ou maior intensidade, possuem suas intervenções ligadas ao sistema de manejo empregado no ambiente, assim, sua utilização pode tanto contribuir para a melhoria do agroecossistema, como para um aumento de seu desequilíbrio. Conhecer essas alterações bem como sua interferência sobre o ambiente é fundamental para identificar estratégias adequadas de manejo. E neste sentido, a qualidade do solo é um conceito amplo que se refere ao equilíbrio entre os condicionantes químicos, físicos e biológicos do solo, sendo que para sua avaliação tem sido postulada a necessidade de identificar parâmetros do seu estado de conservação e/ou degradação.

A manutenção da produtividade de ecossistemas agrícolas e naturais depende, em grande parte, do processo de transformação da matéria orgânica e, por conseguinte, da biomassa microbiana do solo (BMS), que representa um importante componente ecológico, sendo responsável pela decomposição e mineralização de resíduos no solo, utilizando esses materiais como fonte de nutrientes e energia para a formação e desenvolvimento de suas células, bem como para síntese de substâncias orgânicas. Os microrganismos atuam nos processos biogeoquímicos, na ciclagem e disponibilização dos nutrientes, regulação dos processos bioquímicos de fixação de nitrogênio atmosférico, associação simbióticas com vegetais, favorecendo e estimulando o desenvolvimento dos mesmos, contribuem com a manutenção da qualidade e produtividade dos solos e, essenciais para recuperação de solos degradados.

A análise da biomassa microbiana do solo fornece informações importantes sobre a dinâmica do reservatório lábil da matéria orgânica do solo, além de também indicar alterações decorrentes de diferentes práticas agrícolas, como o manejo dos solos e culturas, o uso de fertilizantes orgânicos ou minerais e biocidas em geral. Tal fato torna-se relevante, pois em culturas como a cana-de-açúcar, por exemplo, embora já reaproveitando grande parte de seus subprodutos e os devolvendo ao solo, é uma cultura exigente em termos nutricionais, exigindo muito das condições do solo. Conhecer as alterações e interferências de determinados tipos de manejo agrícola é fundamental para identificar estratégias adequadas, apontando técnicas de utilização menos impactantes.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de um solo agrícola, cultivado com três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), comparando a utilização de insumos convencionais (adubação mineral) e orgânico (fertilizante orgânico composto), através das práticas corretivas e de adubação no sulco de plantio, por meio da análise de parâmetros químicos, parâmetros microbiológicos e produtividade agrícola dos tratamentos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Desenvolvimento e meio ambiente

As condições biológicas foram revolucionadas por rápidos avanços na seleção de plantas e animais por meio de avanços biotecnológicos, tornando-se mais produtivos e exigentes. Isto por sua vez acarretou a consequente revolução e direcionamento das condições ecológicas a uma simplificação, especializando ecossistemas, sobretudo pela agropecuária, que ao serem explorados, acabam interferindo na sustentabilidade nos mais variados ambientes como, por exemplo, em agroecossistemas (RUSCHI, 1978; VEIGA, 2003; SANTOS; CAVALHEIRO; PIRES, 2004). Manter a integridade das funções ambientais é condição fundamental nos ecossistemas e objetivando salvaguardar o mais próximo possível as condições ambientais naturais, a ação antrópica deve abranger manejos alternativos, adaptados ao ambiente, e contemplando práticas que minimizem impactos resultantes dessas atividades, sobretudo na chamada agricultura convencional, onde essa preocupação pode restringir-se, às interações e interferências sobre a produtividade (BONILHA, 1992; EHLERS, 1999; GLIESSMAN, 2001; KATOUNIAN, 2001).

Por vezes, a agricultura, sob a justificativa da necessidade de se maximizar a produção de alimentos para a população, tem deixado em segundo plano cuidados necessários para a conservação do ambiente; mesmo assim, várias abordagens têm sido formuladas para o manejo de ecossistemas sob condições de estresse, principalmente decorrentes das atividades antrópicas (RISSER, 1985; FRASSON, 1990¹ citado por MARGARIDO, 1994). A própria agricultura, como a conhecemos, possui vários exemplos de práticas de manejo tidas como ecológicas como o controle biológico de pragas e o sistema de plantio direto, dentre outros. Contudo, seja por falhas operacionais, desconhecimento e até mesmo negligência, tais práticas acabam apenas relacionando impactos a custos operacionais e, mesmo tendo caráter sustentável, não são adotadas com base numa compreensão da estrutura do ambiente (MARGARIDO, 1994). Por conseguinte, abordagens para um adequado manejo e manutenção da qualidade ambiental, acabam sendo limitadas

¹ FRASSON, A. O preço econômico, ecológico social da ocupação e uso irracional do espaço rural. **Anais Sober**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 178-190, 1990.

² SILVA, D. J. Institutions and managing the environment. **Water Science and Technology**, London, v. 19 n. 9, p.

pelas dificuldades de previsão e avaliação dos efeitos das atividades humanas na estrutura e função dos ecossistemas naturais, transformados em agroecossistemas (WESTMAN, 1977 citado por MARGARIDO, 1994).

São conhecidos sistemas e técnicas agrícolas que englobam práticas direcionadas a uma adequação dos meios produtivos, priorizando a manutenção dos processos ecológicos e, neste sentido, por exemplo, tem-se a abordagem agroecológica, que uma vez adicionada ao manejo do sistema de cultivo, procura entender e preservar tais interações sobretudo através de sistemas de produção orgânicos, por compreender técnicas onde todo manejo agrícola está baseado no respeito ao meio ambiente e na preservação de seus recursos (ALTIERI, 1989; PASCHOAL, 1994; PENTEADO, 2000; GLIESSMAN, 2001).

A importância de um meio ambiente equilibrado, tendo em vista a sobrevivência do ser humano, ganha cada vez mais espaço através da apropriação de termos e modelos ditos sustentáveis. No caso da agropecuária, por sustentabilidade se entende o uso racional dos recursos naturais para produção de alimentos e bem estar social garantindo sua continuidade ao longo do tempo, e visto as mudanças ocorridas nas características ambientais e que proporcionam mudanças das funções ambientais, resultando em alterações de sua estrutura, tais funções sejam elas de regulação, suporte, produção ou informação, desempenham um papel fundamental na sustentação da vida, sem as quais seria impossível o desenvolvimento de atividades econômicas (SILVA, 1987² citado por MARGARIDO, 1994; GROOT, 1993³ citado por MARGARIDO, 1994).

Através dessa abordagem, valoriza-se o estudo do dilema agricultura e meio ambiente, consolidada no tempo pelo fato da agricultura ter buscado tradicionalmente manter formas de produção que alcançassem maior produtividade (viabilidade e rentabilidade econômica), sem levar em consideração o aumento da diversidade biológica e da complexidade de relações entre os organismos e componentes que compõem o sistema. Qualquer prática agrícola, mesmo procurando manejar a natureza no sentido de manter a sua essência, de modo geral

² SILVA, D. J. Institutions and managing the environment. **Water Science and Technology**, London, v. 19 n. 9, p. 53-58, 1987.

³ GROOT, R. S. de. **Functions of the nature**. Evaluation of nature in environmental, planning, management and the vision making. Dordrecht: Worts Noodhoff, 1993. 345 p.

promove alterações na estrutura do ecossistema, na maioria das vezes tão profundamente, que seu funcionamento passa a ser por estresse, o que conseqüentemente leva-o a instabilidade (PINAZZA, 1994; KATOUNIAN, 2001; LAVELLE, 2009).

2.2 Ação antrópica, de ecossistemas à agroecossistemas

As diferentes formas de utilização da terra devem compreender metas de desenvolvimento adequadas, onde as questões mais significativas quanto à sustentabilidade, englobem os componentes dos ecossistemas e/ou agroecossistemas, sujeitando-os a metas de desenvolvimento sustentável (SANTOS; CAVALHEIRO; PIRES, 2004).

O conceito de ecossistema o define como um sistema funcional de relações complementares entre organismos vivos e seu ambiente, demarcados por limites ambientais aleatórios que no espaço e no tempo parece manter um equilíbrio estável e dinâmico. Quando se estende o conceito de ecossistema para a agricultura, considera-se os sistemas agrícolas como agroecossistemas. Muitas vezes os agroecossistemas tornam-se mais difíceis de se estudar, quando comparados aos sistemas naturais, porque a ação humana no meio complica a estrutura e função normal do ecossistema. Assim, um agroecossistema se forma quando a manipulação humana através da alteração de determinado ecossistema visa a produção agrícola. A agricultura é mais que uma atividade econômica desenhada para produção de uma cultura: atualmente se considera como um sistema muito mais abrangente, com muitas partes interatuantes, incluindo os componentes ambientais, econômicos e sociais. A sustentabilidade, como conceito emergido e integrante da agroecologia, está baseada nos conhecimentos dos ecossistemas naturais e agroecossistemas tradicionais (GLIESSMAN, 2003).

A garantia de estabilidade de um sistema não está em sua permanência, ou seja, em um estado fixo, mas em sua dinâmica altamente flutuante, que permite a recuperação do ambiente em função de determinada perturbação. Os ecossistemas naturais servem de referência para se entender as bases da sustentabilidade em um ambiente particular, como em um agroecossistema, por exemplo, através de sua

relação com o meio ambiente em que se encontra, pois proporciona exemplos de co-evolução com seu entorno (culturas e entorno local) ao longo do tempo, através de processos que equilibram suas necessidades, sejam elas tidas como ecológicas, tecnológicas ou sócio-econômicas (GLIESSMAN, 2003).

Os ecossistemas naturais são fruto de um longo período de evolução, com uso de recursos locais e adaptação às condições ecológicas locais. Assim, quanto maior a similaridade estrutural e funcional entre um agroecossistema e um ecossistema natural, maior será a probabilidade do agroecossistema se tornar sustentável. Muitos agroecossistemas convencionais modernos têm degradado severamente suas bases ecológicas, na medida em que a otimização da produção de alimentos se baseia em fatores sócio-econômicos; entretanto, muitos agroecossistemas tradicionais também são exemplos da aplicação de conceitos ecológicos no ambiente agrícola, com destaque para a técnica de consorciação de culturas (GLIESSMAN, 2003).

2.3 Sustentabilidade no ambiente agrícola

Qualquer definição de agricultura sustentável deve incluir o exame do sistema de produção como um agroecossistema. Pinazza (1994), com base em GLIESSMAN (2001), define um agroecossistema como sendo um sistema que possui sua origem decorrente da ação antrópica sobre o ecossistema natural, tendo por objetivo a utilização do meio ambiente de forma sustentada, visando à obtenção de plantas ou animais para consumo imediato ou para transformação. Porém, a atividade agrícola convencional integralizou manejos e práticas contrários a essa afirmação, priorizando a monocultura e, com isso, se transformando em agente causador de degradação do meio ambiente (PINAZZA, 1993).

Os custos ecológicos e sociais são inestimáveis em consequência da ocupação e uso desordenado do meio agrícola (agroecossistema), onde o manejo irracional dos recursos aplicados na agricultura aumentou os custos de produção, e paralelamente, os custos para a recuperação dos ambientes em questão. A manutenção da produtividade através do tempo está diretamente relacionada ao manejo a que os componentes ambientais são submetidos, e onde sua

disponibilidade responderá proporcionalmente aos conhecimentos e tecnologias que compõem o manejo. A importância econômica dos recursos naturais vai além de sua relação com a produtividade agrícola, pois também cabe compreender os problemas de degradação ambiental presentes no meio agrícola, bem como as formas de reversão do processo. Diante dessa realidade, a adoção de práticas agroecológicas, visando uma agricultura sustentável, permitem o uso racional do agroecossistema para a produção de alimentos através da geração e aplicação tecnologias específicas (BONILHA, 1992).

2.4 Uso do solo

Solos ao redor do mundo encontram-se em situação de deterioração, muitas vezes relacionados ao manejo empregado e devido à problemas corriqueiros, dentre eles a erosão, o esgotamento de nutrientes, a perda de carbono orgânico do solo, a impermeabilização, etc. Esta tendência pode ser minimizada e até revertida com a adoção de práticas de gestão sustentável e da utilização de tecnologias apropriadas. Os solos são vitais para a produção de culturas alimentícias, pois possuem relação direta com os processos biogeoquímicos do ambiente, filtram milhares de quilômetros cúbicos de água por ano, funcionam como um grande armazém também ajudando a regular as emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, fundamentais para a regulação do clima (BAI et al, 2015).

De acordo com a conclusão do Estatuto dos Recursos do Solo do Mundo produzido pelo Painel Intergovernamental Técnico da FAO sobre solos em 2015, os recursos do solo ao redor do globo encontram-se, em sua maioria, em condições ruins com cerca de 33% da terra moderadamente a altamente degradada devido à erosão, salinização, compactação, acidificação e poluição química dos solos. A perda de solos produtivos pode afetar gravemente a produção de alimentos e a segurança alimentar, aumentando o preço dos alimentos e, potencialmente, agravar a fome e a pobreza (SBERA, 2015).

O impacto de fatores como o crescimento populacional, a urbanização e as mudanças climáticas acarretam alterações para o estado dos solos, impulsionadas principalmente pelo crescimento da populacional e econômico, fatores que irão

persistir nas décadas por vir. Temperaturas mais altas e eventos climáticos extremos terão impacto na quantidade e fertilidade do solo em uma série de maneiras, incluindo a redução de umidade e esgotando as camadas de solo rico em nutrientes, contribuindo para um aumento na taxa de erosão.

Dentre os principais fatores que podem alterar drasticamente as funções do solo, estão: erosão, perda de carbono orgânico, desequilíbrio de nutrientes, acidificação, contaminação, alagamento, compactação, impermeabilização, salinização e perda de biodiversidade. Chama-se a atenção para um consenso geral sobre as estratégias relacionadas ao solo que podem, por um lado, aumentar a oferta de alimentos, enquanto por outro lado, minimizar os impactos ambientais nocivos e centrada na gestão sustentável do solo, exigindo ampla participação de partes interessadas. O relatório identifica quatro prioridades de ação (BAI, 2008; SBERA, 2015):

- Minimizar ainda mais a degradação dos solos e restaurar a produtividade dos solos que já estão degradados em regiões de maior vulnerabilidade;
- Estabilizar estoques globais de matéria orgânica do solo;
- Estabilizar ou reduzir o uso global de fertilizantes como nitrogênio e fósforo;
- Melhorar o conhecimento sobre o estado e evolução das condições do solo.

No período de 1981 a 2003, por volta de 2% dos solos do Brasil foram degradados, tornando crescente o interesse no estudo de parâmetros que indiquem, de forma precoce e eficaz, alterações que ocorrem no solo, mostrando manejos adequados e garantindo a sustentabilidade dos agroecossistemas (BAI, 2008).

2.5 Resíduos sólidos e resíduos agroindustriais

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil ocorre em um momento em que o ambiente econômico desfavorável atinge o país como um todo e registra uma situação crítica para sua gestão, pois os prazos para adequação da destinação final de resíduos estabelecidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos venceram

em agosto de 2014 e o objetivo não foi alcançado. O encaminhamento de resíduos sólidos para locais inadequados configura-se num dos piores impactos que podem ser causados ao meio ambiente, contaminando diretamente o solo, as águas, o ar, e, conseqüentemente à população. Trata-se de uma prática ilegal, cujos efeitos danosos não são controláveis e que, com o passar dos anos, apresenta custos cada vez mais elevados para adoção de medidas de controle e remediação (SBERA, 2015).

A continuidade dessa prática tem deixado um efeito negativo de grandes proporções para toda a sociedade, que além de conviver com uma situação de elevação nos índices de poluição, também arcará com um aumento nos gastos com saúde e terá grandes dificuldades para consolidar ações de recuperação e reciclagem dos resíduos, desperdiçando importantes recursos (SBERA, 2015).

A geração de resíduos sólidos advém, sobretudo, de atividades econômicas e de transformações da matéria-prima, realizadas durante o processo industrial. O considerável aumento da geração de resíduos sólidos, sejam eles de origem urbana ou agroindustrial, em sua maioria possuem destinação final inadequada (OLIVIER, 2011). Quando manejados de forma inadequada, oferecem diversos riscos como por exemplo formação de lixiviados devido à sua decomposição e conseqüente contaminação do solo, água e demais componentes ambientais (BRAGA et al., 2005).

Resíduos sólidos são materiais heterogêneos, podem ser inertes, minerais ou orgânicos, resultantes das atividades humanas ou de origem natural. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10004 de 31 de maio de 2004, são definidos como qualquer material nos estados sólido e semissólido, resultante de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de varrição. Ainda de acordo com sua periculosidade, a referida Norma Regulamentar estabelece duas categorias, são elas:

- Resíduos Classe I (Perigosos): possuem características que trazem riscos graves ao meio ambiente e/ou à saúde pública e podem ser corrosivos, inflamáveis, oxidantes, patogênicos, reativos e tóxicos.

- Resíduos Classe II (Não perigosos): possuem características de acordo com sua solubilidade, dividindo-se em:
 - Resíduos Classe II A (não inertes): aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I (perigosos) ou Classe II B (inertes), podendo ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
 - Resíduos Classe II B (inertes): quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, dureza, sabor e turbidez.

No Brasil, aproximadamente 55% da composição dos resíduos sólidos são provenientes de materiais orgânicos, sendo que menos de 2% são reaproveitados de alguma forma. Além destes, existe a porção de compostos inorgânicos que, em sua composição, contêm macro e micronutrientes, conferindo ainda mais interesse em sua reutilização. Por essa abordagem – transformar resíduos em insumos – ampliam-se possibilidades de destinação menos impactantes, como alternativa à disposição em aterros sanitários ou estoque a céu aberto (OLIVIER, 2011).

Os resíduos sólidos gerados na agroindústria compreendem considerável proporção, que em determinadas situações já são reutilizados e devolvidos ao ambiente, sendo transformados em insumo agrícola e utilizados próximos às áreas de sua geração. A incorporação de resíduos agroindustriais na agricultura, desde que tratados e processados adequadamente para tal destinação, podem ser uma importante fonte de matéria orgânica, e fornecer até 50% do nitrogênio e fósforo necessários inicialmente, além de micronutrientes essenciais (OLIVIER, 2011).

Resíduos agroindustriais são oriundos do processo produtivo de alimentos, fibras, couro, madeira, etc, e possuem sazonalidade geralmente condicionada oferta da matéria-prima. Em geral, contêm elevada concentração de material orgânico

(MATOS, 2005). A indústria sucroenergética é uma das grandes geradoras de resíduos. Os avanços tecnológicos para o processamento da cana-de-açúcar, otimizando processos para obtenção de um açúcar de melhor qualidade, ocasionou aumento significativo do volume de descartes decorrentes desse processo, principalmente à partir dos anos 90 (UDOP, 2004). Deste modo, uma destinação alternativa é sua utilização como adubo por exemplo, prática já empregada em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, com a aplicação de torta de filtro e outros subprodutos (JORGE et al., 2010).

A utilização de resíduos sólidos na agricultura, como adubo orgânico e condicionador de solos constitui importante alternativa de gestão, ao aliar a reciclagem com destinação final adequada. Todavia, além de nutrientes e MO podem conter organismos patogênicos, compostos orgânicos persistentes e tóxicos, além de elementos inorgânicos potencialmente prejudiciais (SOUZA et al., 2001; ABREU JÚNIOR et al., 2005 a). Necessitam, portanto, de informações mais detalhadas, sobretudo por meio de estudos e pesquisas que apontem para uma aplicação segura e adequada, e que recomendem dosagens adequadas. Antes da aplicação em campo, e tendo em vista amenizar o potencial contaminante do composto, bem como promover melhorias de suas características químicas e físicas, faz-se necessário realizar sua compostagem. Durante este processo, a MO é decomposta por microrganismos, sendo transformada em um material humificado, de cor escura e odor de terra (DE BERTOLDI et al., 1983).

Trata-se de um processo de decomposição controlado, exotérmico e oxidativo de compostos de origem orgânica, por meio da ação de microrganismos autóctones, em ambiente úmido, aquecido e aeróbio, com produção de dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), minerais e MO estabilizada (composto) (PARR; HORNICK, 1992; DIAZ et al., 1993). Durante este processo, dois elementos são imprescindíveis para a decomposição microbiana, são eles carbono e nitrogênio (C e N, respectivamente). O carbono fornece a energia necessária para o metabolismo e construção de novas células microbianas, ao passo que o nitrogênio é importante para formação de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e co-enzimas importantes ao metabolismo celular (FLORA et al., 2010).

Um fator importante a ser considerado durante a compostagem é a (relação C/N) presente no material. Para microrganismos é cerca de 10:1 (valor mais adequado para metabolismo), com intervalo de valores para C/N entre 25:1 e 40:1, definido como ideal para o início do processo de compostagem. Valores elevados na relação C/N indicam deficiência de N, interferindo no desenvolvimento de populações microbianas e reduzindo a velocidade do processo de decomposição. Valores baixos na relação C/N podem significar perdas de N na forma de amônia, sobretudo a altas temperaturas e condições de aeração forçada, ocasionando odores indesejados. Ao longo da compostagem a relação C/N decresce gradualmente, estabilizando em valores entre 10:1 a 15:1 (HAUG, 1993; HOWARTH et al., 1995).

2.6 Qualidade do solo

O conceito de qualidade do solo começou a ser elaborado no início dos anos 90, e percepções diferenciadas surgiram desde que o tema foi proposto. A preocupação com a qualidade do solo foi crescendo à medida que seu uso intensivo passou a resultar na diminuição da sua capacidade produtiva e sustentável ao longo dos anos (BATISTA et al., 2008). Porém, o principal avanço foi o aceite da sociedade quanto à importância de avaliar a qualidade do solo (CONCEIÇÃO, 2002).

Os conceitos mais difundidos de qualidade do solo são aqueles que ressaltam o seu aspecto funcional, considerando a qualidade do solo como a capacidade deste funcionar dentro dos limites do ecossistema, sustentando a produtividade biológica e mantendo a qualidade ambiental. Neste sentido, considera-se não apenas o papel do solo na produção agrícola, mas também sua participação em funções específicas no ecossistema, pois práticas agrícolas que alteram a produtividade biológica por processos de degradação, interferem diretamente na qualidade do solo, bem como em suas funções (DORAN; PARKIN, 1994; LAMBAIS, 1997). Numa revisão de vários autores, Araújo e Monteiro (2007) enunciam outros conceitos e/ou funções ligados à qualidade do solo:

- Capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano;
- Condição do solo relativa aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas ou determinado propósito humano;
- Capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo de água e solutos, degradar, imobilizar e destoxificar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes.

Sendo assim, a qualidade do solo pode ser avaliada pela mensuração do seu estado atual e nível de alteração, principalmente de suas propriedades, comparando-se com valores considerados ideais ou de áreas naturais que não sofreram ação antrópica (DORAN; PARKIN, 1996).

2.6.1 Indicadores de qualidade do solo

A qualidade do solo é mensurada através de indicadores, que refletem o status ambiental ou condição de sustentabilidade do ecossistema (ARAÚJO & MONTEIRO, 2007). Os atributos indicadores de qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade agrícola do solo e o desempenho de suas funções ambientais. Portanto, um indicador é algo que aponta, indica, pode ser uma propriedade, processo ou característica que é utilizada para verificar o estado do ecossistema e/ou agroecossistema, evidenciando possíveis alterações provocadas (MELLONI, MELLONI P, et al., 2008).

Na passagem de sistemas naturais para agrícolas, muitos atributos do solo são alterados, alguns dos quais, por estarem relacionados a processos do ecossistema e serem sensíveis a variações de uso e manejo do solo, indicam alterações na sua qualidade. A medida em que vão sendo incorporadas ao processo produtivo, essas áreas sofrem alterações, refletindo em seus atributos físicos, químicos e biológicos, e cuja intensidade varia de acordo com o tipo de solo, condições climáticas, uso e manejo (DORAN; PARKIN, 1996; SPERA et al., 2007).

Parâmetros físicos e químicos podem ser utilizados para medir a qualidade do solo, contudo, por serem lentamente alterados, necessitam um tempo maior para verificação de possíveis mudanças. O mesmo não acontece com indicadores biológicos e bioquímicos do solo, pois estão relacionados a pequenas alterações que ocorrem e, por este motivo, fornecem respostas e informações prontamente (PASCUAL et al., 2000; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A biomassa atua como agente de transformação da matéria orgânica no ciclo de nutrientes e fluxo de energia, pois a quantidade de nutrientes presente nas células dos microrganismos é muito significativa perante a ciclagem de nutrientes em todo o ecossistema. A biomassa microbiana tem sido usada para avaliar as condições do solo, já que representa a fração responsável pela mineralização da matéria orgânica e todos os nutrientes retidos na biomassa são liberados para a solução do solo à medida que os microrganismos morrem e representando considerável reservatório de nutrientes, exercendo função de reserva ou fonte de energia que entra ou sai do sistema (JENKINSON; LADD, 1981; DEPOLLI e GUERRA, 1999). Por exercer influência direta na estabilidade e fertilidade do ecossistema, o monitoramento de processos bioquímicos do solo tornam-se eficientes na detecção de alterações, por vezes antes mesmo de intervirem na produtividade agrícola, auxiliando na obtenção de informações que contribuem para avaliar a capacidade funcional de solos degradados, norteando sua recuperação (PASCUAL et al.; LAMBAIS, 2007).

Devido a sua natureza dinâmica, populações de organismos do solo são facilmente afetadas por quaisquer alterações, sejam elas decorrentes de processos físicos (cultivo) ou químicos (insumos) (D'ANDRÉA et al., 2002), por este motivo, os processos biológicos servem como indicadores sensíveis às situações de estresse e/ou produtividade ambiental decorrentes de diferentes práticas agrícolas e, embora existindo evidências consideráveis sobre sua adoção na avaliação de impactos no ambiente, sua utilização é pouco difundida (LAMBAIS, 1997; VALARINI et al., 2002). Os atributos indicadores de qualidade do solo devem ter a capacidade de serem sensíveis ao manejo numa escala de tempo que permita a verificação de suas alterações. Um bom indicador ambiental da qualidade do solo deve integrar vários processos e propriedades do solo, ser de fácil determinação, preciso e exato em descrever uma função particular que expresse mudanças no ambiente. Diversas

propriedades físicas, químicas e biológicas têm sido sugeridas como bons indicadores de qualidade do solo (ISLAM; WEIL, 2000; TÒTOLA; CHAER, 2002).

A quantificação da população microbiana do solo tem sido feita tradicionalmente com base no isolamento de microrganismos em meios de cultura adequados, através da técnica de plaqueamento e diluição em série. No entanto, somente cerca de 1% da população bacteriana do solo pode ser cultivada pelas práticas padrões de laboratório (JOHNSEN et al., 2001; HUNT et al., 2004; KOHLER et al., 2009). O advento de técnicas moleculares mais eficazes, baseadas na caracterização de ácidos nucléicos extraídos do solo e amplificação de regiões específicas do DNA por PCR (Polymerase Chain Reaction), permitem a identificação de microrganismos e tem oferecido grande potencial para estudos da comunidade microbiana do solo (CRECCHIO et al., 2004).

Nos últimos anos, vários trabalhos foram desenvolvidos utilizando indicadores biológicos do solo para verificar mudanças decorrentes de diferentes sistemas de cultivo como D'Andrea et al. (2002), Tu, Ristaino e Hu (2006), Sampaio, Araújo e Santos (2008). São poucos os estudos que mostram os efeitos do sistema de cultivo orgânico de cana-de-açúcar sobre as propriedades do solo, dentre estes, Oliveira (2008), Barbosa (2010) e Machado (2008), que estudaram áreas de cultivo orgânico de cana-de-açúcar comparados com o sistema convencional, observando que o sistema de produção orgânico pode ser adotado para o cultivo de cana-de-açúcar, com produção equivalente ao sistema convencional.

2.7 Considerações sobre o setor Sucroalcooleiro e sobre as variedades RB

A participação histórica da cana-de-açúcar no Brasil é de grande importância, sendo parte integrante da agricultura nacional desde o século XVI e já tendo importância na economia. Atualmente destaca-se por ser uma das grandes culturas propulsoras da agricultura brasileira. Segundo a estimativa de safra 2014/2015 dos 710,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar produzidos, 558,7 milhões de toneladas são destinados à indústria sucroalcooleira, sendo o restante, 151,6 milhões de toneladas destinados à produção de derivados da cana-de-açúcar (ÚNICA, 2008; CONAB, 2014).

No setor, sobretudo por sua característica sustentável na reutilização de subprodutos e produção de energia dos chamados processos de segunda geração, tem-se buscado a adoção de sistemas de produção que possibilitem maior eficiência e conservação ambiental, criando-se novos paradigmas tecnológicos na agricultura, baseados na sustentabilidade. Manter os solos produtivos e garantir a sustentabilidade de suas propriedades físicas, químicas e biológicas torna-se, cada vez mais, um fator determinante sobretudo na adoção de técnicas que priorizem e respeitem essas particularidades e características ambientais. Também vale ressaltar as atuais exigências dos mercados consumidores atuais, que tem regulamentado seus processos produtivos com o intuito de assegurar aspectos de qualidade do produto final, orientando e forçando toda cadeia produtiva para atender essas novas exigências.

As variedades com sigla RB - Republica Federativa do Brasil, correspondem a 58% da área de cana-de-açúcar cultivada no Brasil, ou seja, cerca de quatro milhões e quinhentos mil hectares, até o ano de 2010 (RIDESA, 2010).

As variedades RB de cana-de-açúcar responderam por 69% da área de plantio na atual safra 2014/15, onde a área plantada com cana nova ou em renovação atingiu 506 mil hectares em 2014 nos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Em segundo lugar ficaram as variedades CTC, do Centro de Tecnologia Canavieira, com 15%, seguidas pelas variedades SP, desenvolvidas pelos centros de pesquisa do governo de São Paulo, com 11%.

As variedades RB alcançaram ainda 63% da área total cultivada com cana avaliada pelo levantamento (3,74 milhões de hectares), destas, a variedade RB867515 foi a mais cultivada entre todas, com 22,4% do plantio em novas lavouras ou áreas de renovação, com 27,3% de todo o canavial ou mais 1 milhão de hectares. De acordo com expectativas do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar – PMGCA/RIDESA, as primeiras variedades RB transgênicas serão apresentadas em quatro anos, onde as duas variedades mais plantadas (RB867515 e RB966928) já foram transformadas em transgênicas (NOVA CANA, 2014).

De acordo com censo varietal 2015, a variedade mais plantada é a RB966928 (17,3%), seguida da RB867515 (16,7%) e com relação a área total, a variedade mais utilizada continua sendo a RB867515 (26%), seguida da RB966928

(9,7%). As variedades RB correspondem por 65% do plantio e da área total de cultivo dos estados de São Paulo e Mato Grosso, correspondendo a 73% das unidades produtivas desses estados (CANA ONLINE, 2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus* de Araras – SP. O mesmo se encontra localizado sob as coordenadas 22°21'25" latitude sul e 47°23'03" longitude oeste de Greenwich, sendo a altitude local de 629 m, com relevo suavemente declivoso e clima, segundo Köppen, classificado como Cwa, mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos. A temperatura média no período do experimento foi de 20,3°C e a precipitação média de 60,6 mm. A implantação se deu em área destinada a experimentos orgânicos, localizada nas proximidades do Laboratório de Agricultura Orgânica (LAO). A área, com 3200 m² ou 0,320 ha (Figura 1), possui um histórico com mais de dez anos sob manejo orgânico, onde foram realizados vários trabalhos envolvendo a temática da agricultura orgânica e portanto, utilizando fertilizantes orgânicos. O solo predominante do local é classificado como Latossolo vermelho-escuro (EMBRAPA-CNPS, 2006). O experimento foi implantado em abril/2014.



Figura 1. Área de implantação do experimento durante o fim do período de pousio, sem cobertura (pós gradagem). Fonte: próprio autor.

3.2 Preparo da área para instalação do experimento

Dentre os procedimentos adotados para preparo da área, inicialmente procedeu-se ao plantio de adubação verde com leguminosa, sendo utilizada a espécie feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), realizado com semeadura a lanço com posterior gradagem para cobrir as sementes (Figura 2). Devido ao período de pousio da área experimental, o plantio de adubação verde teve por finalidade a cobertura do solo durante esta fase e também o futuro aporte de biomassa vegetal sobre o solo. Contudo, o desenvolvimento da adubação verde não ocorreu de forma significativa, não cobrindo o solo durante o pousio como esperado, pois as sementes de feijão de porco pouco germinaram. Sendo assim, a área permaneceu exposta por um certo tempo, sendo coberta ao longo do período de pousio por plantas espontâneas (plantas adventícias).



Figura 2. Desenvolvimento da adubação verde durante início do período de pousio.
Fonte: próprio autor.

Para preparo da área também foram adotados e realizados alguns procedimentos compreendendo:

- Pousio da área por um período de 12 meses, à partir de março/2013, atendendo as normas vigentes para agricultura orgânica (Instrução Normativa Nº 46 de 06/10/2011), página 5, capítulo IV, seção II: Da duração do período de conversão), Art. 14 – I.
- Amostragem de vários sacos do fertilizante orgânico composto VisaFértil® (Figura 3) com retiradas de subamostras para compor uma amostra composta, para fins de verificação das garantias do produto (Tabelas 1 e 2).
- Amostragem inicial do solo na profundidade de 0-20 cm de onde foram retiradas 20 subamostras, em trajeto zigue-zague em área total, para compor duas amostras compostas (Figura 4), visando posterior recomendação de adubação e calagem para a área (Tabelas 3 e 4).
- Abertura dos sulcos para plantio da cana-de-açúcar com espaçamento padrão de 1,5 m, adotado pelo CCA/UFSCar e posterior demarcação e esquadreamento das parcelas (Figura 5).



Figura 3. Embalagem do fertilizante orgânico composto VisaFértil®. Fonte: próprio autor.



Figura 4. Amostragem inicial da área experimental. Fonte: próprio autor.

Tabela 1. Garantias do fertilizante orgânico composto, dados contidos na embalagem do produto

pH	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CTC/C	Umidade	CTC	C/N
			%				mmol/dm ³	
6.0	15	1	1.5	0.5	20	50	20	13/1

Tabela 2. Composição (%) do fertilizante orgânico composto, após análise em laboratório

pH	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca O	Mg O	SO ₄	Umidade
7.3	15.1	1.85	1.37	1.24	3.30	0.66	6.22	53.38

Tabela 3. Composição da amostra inicial do solo, na profundidade de 0-20 cm, antes do início dos tratamentos

P Resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB
mg/dm³	g/dm³	Ca Cl₂				mmol_c/dm³		
8	27.5	4.9	1.4	10	4	43.5	1.5	15.4
CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
mmol_c/dm³	%				mg/dm³			
58.9	26	20	0.15	0.8	10	11.8	0.8	

Tabela 4. Recomendação de calagem e adubação para cana-planta cultivada na área experimental

Calagem	1,5 t/ha de calcário dolomítico, PRNT= 100 1,5 t/ha de gesso agrícola
Adubação para plantio	600 kg/ha da fórmula 5-25-25



Figura 5. Abertura dos sulcos e demarcação das parcelas da área experimental.
Fonte: próprio autor.

- Cálculos das quantidades de insumos utilizados para cada tratamento, baseados na recomendação de adubação e calagem (resultados da análise química de solo realizada), orientando-se também pelas recomendações de fertilização orgânica contidas em Kiehl (1985) e recomendações de fertilização mineral contidas em Raij et al. (1996).
- Aplicação dos insumos nas parcelas, de acordo com cada tratamento (quantidades descritas posteriormente no item 3.3.1).
- Definição e plantio das três variedades de cana-de-açúcar selecionadas (descrição das variedades no item 3.3.1, Tabela 5).

As matérias primas componentes do fertilizante orgânico composto são: esterco e camas de aviário, farelos e tortas de origem vegetal, casca de pinus/eucalipto e cinzas, conforme descrito na embalagem. O composto, de acordo com sua natureza, é classificado como sólido farelado grosso – classe B, com registro no MAPA número: SP – 0971010001-2.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, contando com nove tratamentos e quatro repetições, totalizando 36 parcelas cultivadas com cana-planta (Figura 6). Cada parcela possuía 37 m², com 5 sulcos de 5,0 m de comprimento e espaçamento de 1,5 m entrelinhas (Figura 7), sendo os três sulcos centrais os que formavam a área útil da parcela e dois sulcos laterais como bordaduras.

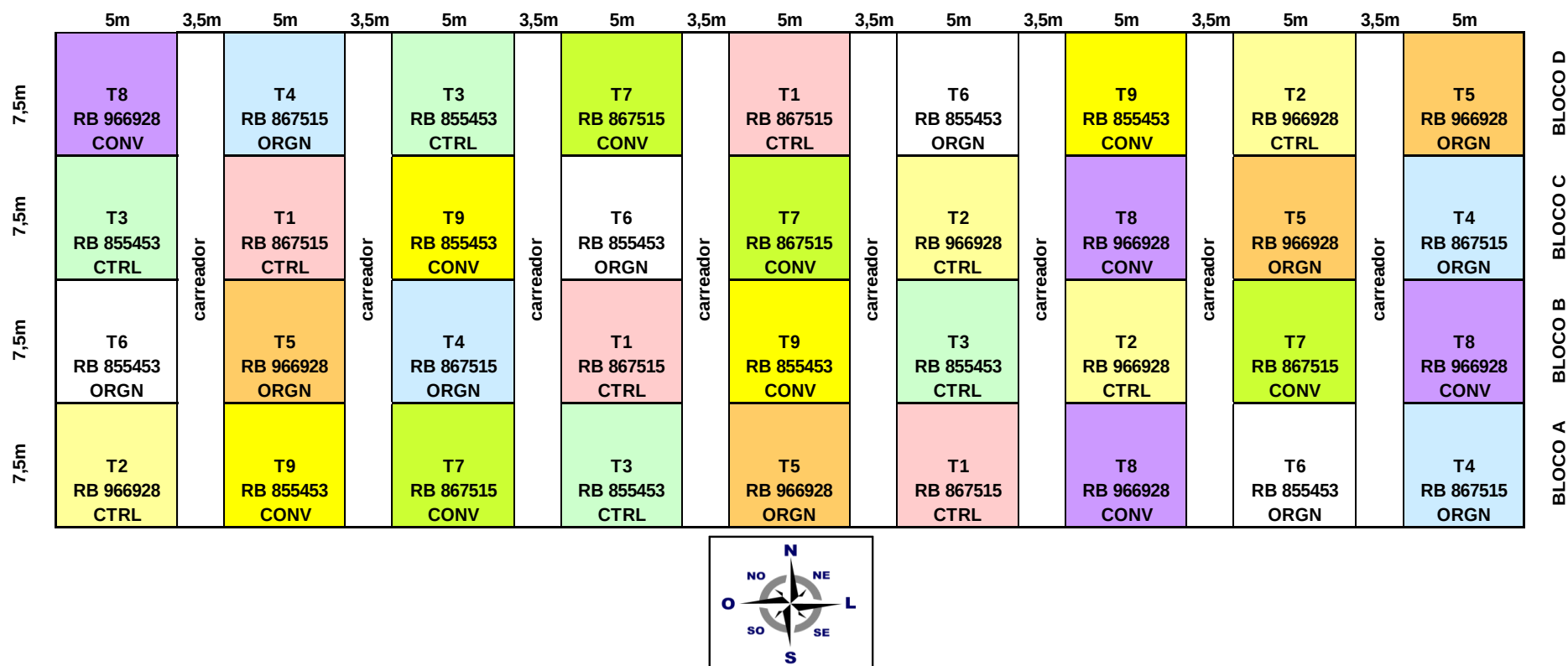


Figura 6. Croqui da área experimental (imagem meramente ilustrativa, não está em proporção).

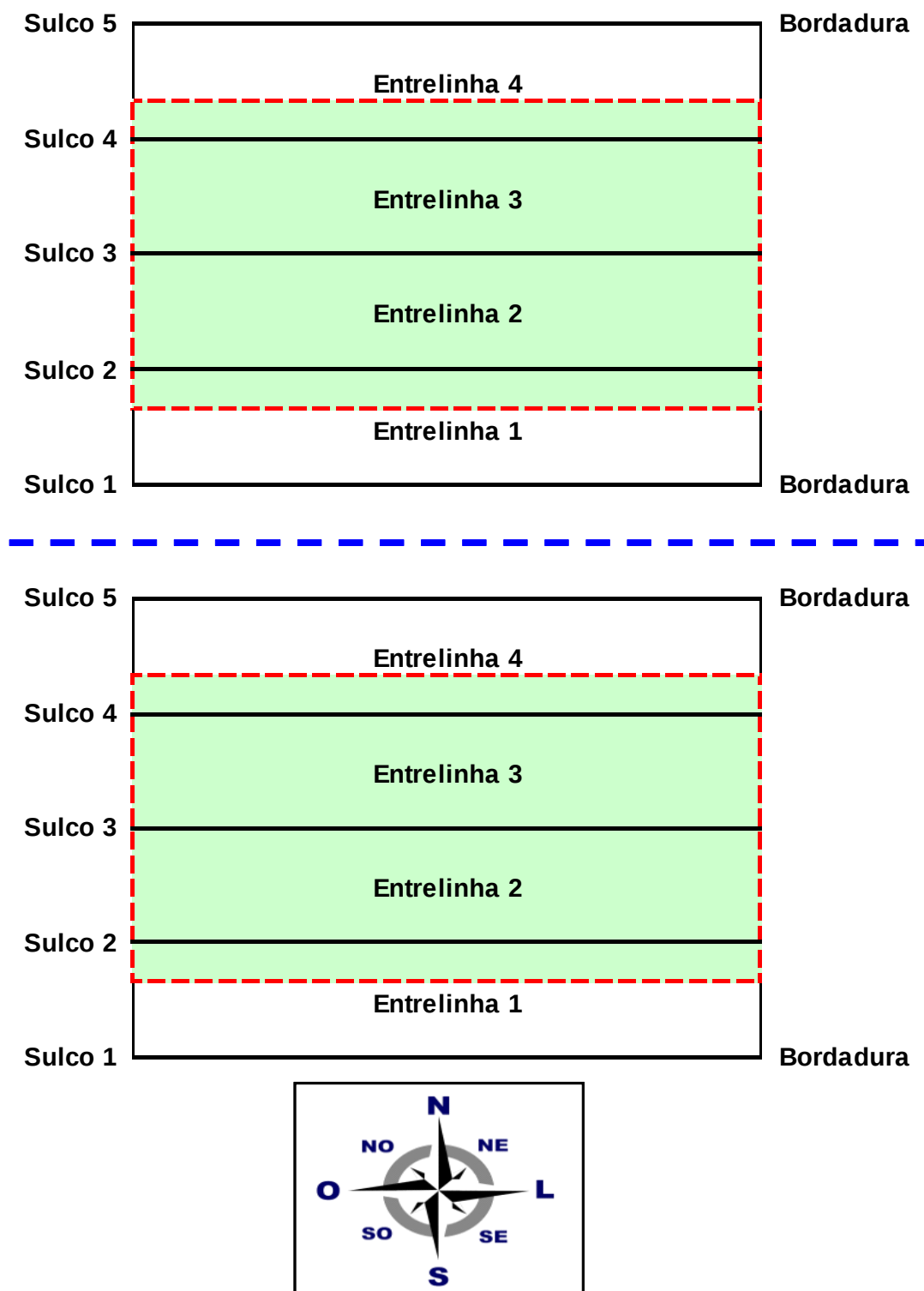


Figura 7. Parcelas do experimento com área útil e bordaduras.

3.3.1 Descrição dos tratamentos

As variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) utilizadas foram: RB 966928, RB 867515 e RB 855453 (Tabela 5).

Tabela 5. Características das variedades RB utilizadas no experimento

Características	Variedades		
	RB 966928	RB 867515	RB 855453
Produtividade agrícola	Alta	Alta	Alta
Colheita	abril – maio	julho – setembro	maio – julho
Perfilhamento	Cana planta – alto	Cana planta – médio	Cana planta – médio
	Cana soca – alto	Cana soca – médio	Cana soca - médio
Brotação da soca	Queimada – muito boa	Queimada – muito boa	Queimada – ótima
	Crua – boa	Crua – boa	Crua - ótima
Fechamento entre linhas	Bom	Bom	Bom
Velocidade de crescimento	Rápido	Rápido	Regular
Porte	Médio	Alto	Médio
Hábito de crescimento	Semi-decumbente	Ereto	Ereto
Tombamento	Eventual	Eventual	Raro
Florescimento	Raro	Eventual	Frequente
Maturação	Precoce	Média tardia	Precoce
PUI	Médio	Médio	Curto
Exigência em ambientes	Média restrição	Média restrição	Alta restrição
Teor de sacarose	Médio	Alto	Muito alto
Teor de fibra	Médio	Médio	Médio
Carvão	Tolerante	Tolerante	Resistente
Ferrugem marrom	Tolerante	Resistente	Resistente
Escaldadura	tolerante	Tolerante	Resistente
Mosaico	Tolerante	Tolerante	Resistente

Fonte: RIDESA (2010).

Os tratamentos utilizados foram:

- **T1 RB 867515 CTRL (T1 86 CT):**

Tratamento controle, sem adição de corretivo, fertilizante orgânico composto, adubação mineral ou calcário.

- **T2 RB 966928 CTRL (T2 96 CT):**

Tratamento controle, sem adição de corretivo, fertilizante orgânico composto, adubação mineral ou calcário.

- **T3 RB 855453 CTRL (T3 85 CT):**

Tratamento controle, sem adição de corretivo, fertilizante orgânico composto, adubação mineral ou calcário.

- **T4 RB 867515 ORGN (T4 86 OG):**

Tratamento orgânico utilizando fertilizante orgânico composto Visafértil® na quantidade de 81,67 kg/parcela ou 16,3 kg/sulco de plantio. Aplicação de calcário (PNRT 70) na quantidade de 11,25 kg/parcela. O controle de ervas espontâneas foi realizado por meio de capinas manuais.

- **T5 RB 966928 ORGN (T5 96 OG):**

Tratamento orgânico utilizando fertilizante orgânico composto Visafértil® na quantidade de 81,67 kg/parcela ou 16,3 kg/sulco de plantio. Aplicação de calcário (PNRT 70) na quantidade de 11,25 kg/parcela. O controle de ervas espontâneas foi realizado por meio de capinas manuais.

- **T6 RB 855453 ORGN (T6 85 OG):**

Tratamento orgânico utilizando fertilizante orgânico composto Visafértil® na quantidade de 81,67 kg/parcela ou 16,3 kg/sulco de plantio. Aplicação de calcário (PNRT 70) na quantidade de 11,25 kg/parcela. O controle de ervas espontâneas foi realizado por meio de capinas manuais.

- **T7 RB 867515 CONV (T7 86 CV):**

Tratamento convencional utilizando adubação mineral nas quantidades de 22,5 kg 6-30-20 (para N-P-K) e 2,5 kg de cloreto de potássio, total de 25 kg, sendo 2,08 kg/parcela ou 0,42 kg/sulco. Aplicação de calcário (PNRT 70) na quantidade de 11,25 kg/parcela. O controle de ervas espontâneas foi realizado por meio da aplicação de herbicida Demolidor BR na dosagem de 2,5 kg/ha.

- **T8 RB 966928 CONV (T8 96 CV):**

Tratamento convencional utilizando adubação mineral nas quantidades de 22,5 kg 6-30-20 (para N-P-K) e 2,5 kg de cloreto de potássio, total de 25 kg, sendo 2,08 kg/parcela ou 0,42 kg/sulco. Aplicação de calcário (PNRT 70) na quantidade de 11,25 kg/parcela. O controle de ervas espontâneas foi realizado por meio da aplicação de herbicida Demolidor BR na dosagem de 2,5 kg/ha.

- **T9 RB 855453 CONV (T9 85 CV):**

Tratamento convencional utilizando adubação mineral nas quantidades de 22,5 kg 6-30-20 (para N-P-K) e 2,5 kg de cloreto de potássio, total de 25 kg, sendo 2,08 kg/parcela ou 0,42 kg/sulco. Aplicação de calcário (PNRT 70) na quantidade de 11,25 kg/parcela. O controle de ervas espontâneas foi realizado por meio da aplicação de herbicida Demolidor BR na dosagem de 2,5 kg/ha.

A constituição do fertilizante orgânico composto foi citada anteriormente (item 3.2). A análise química dos produtos foi realizada no laboratório de análise química de solo e planta do CCA/UFSCar *campus* de Araras. Os produtos orgânicos Visafertil® são derivados de matérias-primas renováveis oriundos de empresas produtoras de resíduos orgânicos sólidos, que por meio de técnicas de compostagem as matérias-primas são fermentadas individualmente até uniformização, sendo posteriormente misturadas, garantindo um fertilizante balanceado com alto teor de matéria orgânica e nutrientes (VISAFÉRTIL, 2015).

3.4 Dados climatológicos

Os dados climatológicos (temperatura e pluviosidade) foram obtidos na Estação Meteorológica do CCA/UFSCar *campus* Araras-SP, mesma localidade da área de estudo. Na Tabela 6 estão contidos os dados de precipitação e temperatura durante o período que vai de março de 2015 (implantação do experimento em campo) à agosto de 2015 (momento das coletas das amostras de solo).

Tabela 6. Precipitação e temperatura durante o período considerado do experimento

Meses	Médias	
	Temperatura (°C)	Precipitação (mm)
Março	22,5	188,2
Abril	22,1	5,8
Maio	19,3	125,7
Junho	18,8	9,4
Julho	18,8	25,1
Agosto	20,7	9,7
Média	20,3	60,6

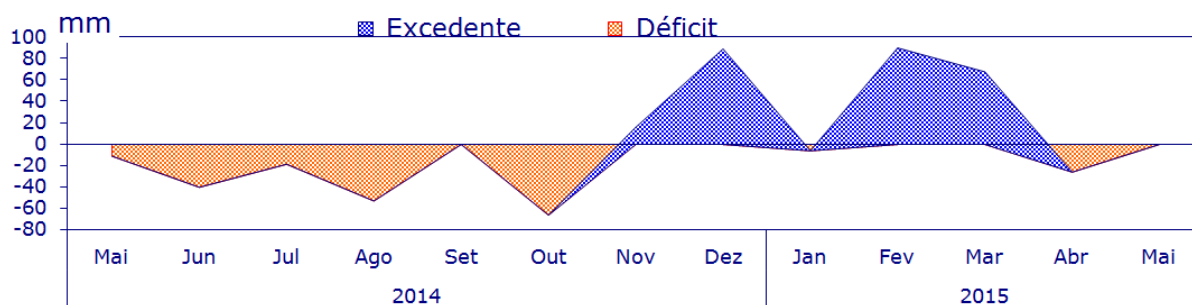


Figura 8. Balanço hídrico da região no período de 2014 à 2015. Fonte: UFScar/CCA.

Observando-se os dados climatológicos médios dessa mesma área dos últimos 44 anos (Figura 9, Tabela 7) o excedente hídrico do solo para o mês de março, permanece em torno de 43,6 mm com precipitação média de 151,9 mm e temperatura média de 23,6°C. No período de abril à agosto observa-se um excedente hídrico igual a zero, ao mesmo tempo as precipitações médias vão diminuindo sistematicamente de abril (69,1 mm) à agosto (29,3 mm). As temperaturas oscilam de abril (21,9°C) à agosto (19,7°C), sendo a temperatura média mais baixa do período igual a 17,9°C (julho).

Comparando os dados históricos com os mesmos parâmetros observados no decorrer do período plantio-amostragem do experimento (Tabela 6) o excedente hídrico para o mês de março foi de 67,7 mm e precipitação igual a 188,2 mm. No mesmo período a temperatura média oscilou de 22,5°C (março) a 20,7°C (agosto), sendo a temperatura média mais baixa do período igual a 18,8°C (julho).

Com base nessas observações, pode-se afirmar que o experimento foi conduzido em condições ambientais típicas da região, esperando-se assim que as possíveis variações observadas sejam decorrentes dos tratamentos estudados e não de atipicidades climáticas ocasionais.

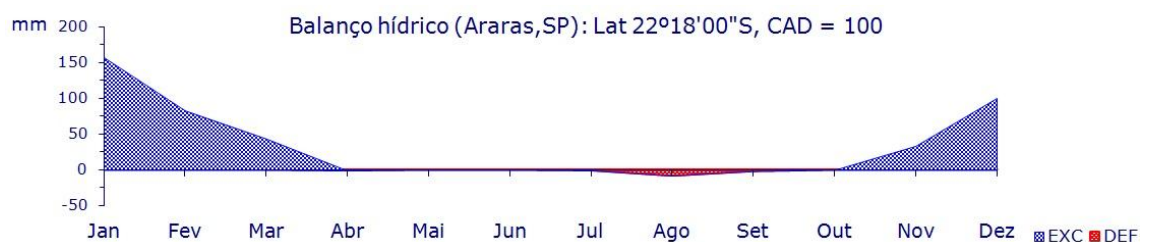


Figura 9. Balanço hídrico da região no período de 1971 à 2015. Fonte: UFSCar/CCA

Tabela 7. Dados climatológicos no período de 1971 à 2015. Fonte: UFSCar/CCA

Mês	Precipitação (mm)	Dias com chuva	Temperatura média mensal (°C)		
			Máxima	Mínima	Média
Jan	277.5	15	29.7	18.4	24.0
Fev	192.3	13	30.2	18.3	24.2
Mar	151.9	10	29.7	17.6	23.6
Abr	69.1	6	28.3	15.5	21.9
Mai	70.3	5	25.8	12.4	19.1
Jun	44.5	4	24.9	11.1	18.0
Jul	36.5	3	25.2	10.7	17.9
Ago	29.3	3	27.4	12.0	19.7
Set	68.9	6	28.3	13.9	21.1
Out	119.8	9	29.4	15.6	22.5
Nov	150.2	10	29.4	16.9	23.1
Dez	215.3	14	29.3	17.9	23.6

Balanço hídrico (Thornthwaite)							
ETP	P-ETP	NEG AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
120.5	157.0	0.0	100.0	0.0	120.5	0.0	157.0
109.5	82.8	0.0	100.0	0.0	109.5	0.0	82.8
108.3	43.6	0.0	100.0	0.0	108.3	0.0	43.6
82.4	-13.3	-13.3	87.6	-12.4	81.6	-0.8	0.0
58.0	12.4	-0.1	99.9	12.4	58.0	0.0	0.0
46.6	-2.0	-2.1	97.9	-2.0	46.6	0.0	0.0
47.5	-11.0	-13.1	87.7	-10.2	46.7	-0.8	0.0
61.7	-32.4	-45.5	63.4	-24.3	53.6	-8.1	0.0
73.6	-4.7	-50.2	60.5	-2.9	71.8	-1.8	0.0
94.4	25.4	-15.2	85.9	25.4	94.4	0.0	0.0
102.6	47.6	0.0	100.0	14.1	102.6	0.0	33.5
115.1	100.2	0.0	100.0	0.0	115.1	0.0	100.2

A umidade e a temperatura são fatores que exercem influência crítica sobre os microrganismos, regulando a atividade biológica (CAMPELO, 2008), além disso, a atividade biológica pode depender da temperatura, caso a água não seja o fator limitante, pois a umidade possui maior efeito em relação a temperatura (VORONEY, 2007).

3.5 Amostragens do solo

A amostragem de solo para análise química (composição química do solo) foi realizada quatro meses após a implantação do experimento e plantio da cana-de-açúcar, durante o desenvolvimento inicial da cultura, fase de crescimento dos colmos – 120 dias após o plantio (Figura 10), conforme informações fenológicas de Marafon (2012). Por compreender uma fase crítica do desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, pois o número de perfilhos estão praticamente definidos, justifica-se a amostragem nessa fase, como melhor período de amostragem para detecção de fatores que possam interferir positivamente ou negativamente no desenvolvimento das plantas.



Figura 10. Situação da área experimental 120 dias após o plantio.

Os parâmetros químicos analisados foram fósforo (P resina), teor de matéria orgânica (MO), pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+AL), alumínio (Al), saturação por bases (V%), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). As análises foram realizadas no laboratório de análise química de solo e planta do CCA/UFSCar *campus* de Araras.

Assim como descrito na amostragem para análise química, a amostragem de solo para análise microbiológica foi realizada durante o mesmo período - fase de crescimento dos colmos da cana-de-açúcar – logo após a coleta para análise química. Foram retiradas dez subamostras de cada parcela com auxílio de um transplantador (Figura 11), na profundidade de 0-15 cm, para compor uma amostra composta por parcela. A amostragem se deu apenas na área útil de cada parcela (três sulcos centrais) em trajeto zigue zague abrangendo as entrelinhas até a distância de um palmo (cerca de 10 cm) da linha de plantio completando cerca de 2 kg de solo. Essa medida foi adotada com base nas informações contidas em Prado e Fernandes (2001) e também para evitar que durante a amostragem pudessem ser amostrados partículas do fertilizante orgânico composto ou grânulos da adubação mineral. As amostras coletadas no campo foram acondicionadas em sacos plásticos, transportadas para laboratório e mantidas na geladeira a (4°C) até o momento das análises.



Figura 11. Coleta de solo para análise microbiológica. Fonte: próprio autor.

3.6 Determinação da umidade do solo e capacidade de retenção de água

Subamostras de 10 g de solo foram pesadas em três repetições, colocadas em recipientes tarados e levadas em estufa a 105°C por 24 horas, que após esse período foram colocadas em dessecador para resfriamento e em seguida pesadas, verificando até se obter peso constante. A umidade foi determinada em porcentagem, através da diferença de pesos antes e depois da secagem em estufa:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{\text{MSU} - \text{MSS}}{\text{MSS}} \times 100$$

Onde: MSU= massa do solo úmido (g); MSS= massa do solo seco (g); 100= fator para conversão em porcentagem.

Para determinar a capacidade retenção de água foram pesadas subamostras de 20 g de solo com umidade natural em três repetições sendo colocadas em papel de filtro com funil, montado sobre um frasco coletor. Foi adicionado lentamente 100 g de água destilada pesada em balança analítica. O conjunto foi coberto com papel alumínio e deixado por uma noite, após esse período os frascos coletores foram pesados novamente. A testemunha sem solo foi realizada de acordo com os mesmos procedimentos.

$$CC (\%) = \frac{[(100 - MAP) + U]}{MSS} \times 100$$

Onde: CC (%)= capacidade de campo (%); MAP= massa de água percolada (g); U= umidade inicial do solo (%); MSS= massa do solo seco (g); 100= fator para conversão em porcentagem.

Os dados de umidade e capacidade de retenção de água do solo foram utilizados para os cálculos dos valores finais dos parâmetros microbiológicos carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e número mais provável de fungos e bactérias do solo.

3.7 Determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM)

Embora tenham sido objeto de ajustes e críticas, as metodologias para estimar o CBM do solo estão entre os métodos mais utilizados no Brasil, com destaque o de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), sendo recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo devido à sua maior sensibilidade ao carbono orgânico total do solo (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). É considerado o mais adequado por não possui maiores limitações para avaliações de solos ácidos e com adição recente de matéria orgânica, entretanto, não é aplicável em solos com teores inferiores a 100g de C kg⁻¹ de solo (SPARLING; WEST, 1998). Vance, Brookes e Jenkinson (1987), propuseram que o carbono orgânico proveniente das células da biomassa microbiana se torna extraível pelo K₂SO₄ (0,5 M) após fumigação por 24 horas com clorofórmio, podendo ser utilizado para estimar a biomassa microbiana do solo.

As amostras foram analisadas em triplicata, ou seja, cada amostra foi dividida em seis sub amostras de 25 g cada, acondicionadas em frascos de vidro de 100 mL, sendo que três delas foram submetidas a fumigação-extração e três a extração imediata após a pesagem (amostras não fumigadas). Os frascos contendo as amostras para fumigação foram transferidos para um dessecador previamente forrado com papel toalha úmido. Junto com esses frascos, outro frasco contendo pérolas de vidro e cerca de 25 mL de CHCl_3 , isento de etanol, também foi colocado permanecendo sob fumigação por 24 horas. Em seguida o CHCl_3 foi removido por aspirações sucessivas. As amostras foram acrescidas de 100 mL de K_2SO_4 (0,5 M), procedendo-se a extração em agitador a 220 rpm por 30 minutos. A solução resultante foi decantada e filtrada em papel de filtro.

A determinação do carbono nos extratos fumigados e não fumigados foi realizada a partir da retirada de 8 mL do extrato, adicionando-se 2 mL de dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,066 M), 10 mL de H_2SO_4 concentrado e 5 mL de H_3PO_4 concentrado. A mistura foi aquecida em banho-maria por uma hora a 30°C , que após resfriado acrescentou-se 10 mL de água destilada e 3 gotas de difenilamina. Com a adição do indicador, a solução passa da cor amarela para violeta. O dicromato em excesso foi titulado com uma solução de sulfato ferroso amoniacal (0,033 M). Ao final da titulação, a coloração da solução passa do violeta para o verde. Frascos sem solo (branco) contendo todos os reagentes receberam o mesmo tratamento dado as amostras, sendo usados como controle. O teor de carbono foi calculado da seguinte maneira:

$$C \text{ (mg C/Kg)} = (V_b - V_a) \times M \times 0,033 \times V_1 \times 106 / P_s \times V_2$$

Onde:

C= carbono extraído do solo; V_b = volume (mL) de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco); V_a = volume (mL) gasto de sulfato ferroso gasto na titulação da amostra; M= molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal; V_1 = volume do extrator para a titulação; V_2 = alíquota pipetada do extrato para titulação; 0,033= miliequivalente do carbono; P_s = massa de solo seco (g).

Para o calculo do CBM foi utilizada a seguinte formula:

$$\text{CBM (mg C/Kg solo)} = \text{FC} / \text{Kc}$$

Onde:

FC= fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg.kg^{-1}) recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada; Kc= fator de correção de 0,33 preconizado por Sparling e West (1988), a fim de expressar a fração de carbono da biomassa microbiana de solo recuperada 24 após o processo de fumigação e extração.

3.8 Determinação da respiração basal do solo (RBS)

A atividade microbiana foi estimada pela quantidade de CO_2 liberado aos 7, 14 e 21 dias das amostras de solo em sistema 'estático' através da metodologia descrita por Grissi e Gray & Gray (1986), pela quantidade de CO_2 liberado das amostras durante a incubação do solo aos de 7, 14 e 21 dias, sob condições laboratoriais e absorvido por uma solução alcalina de KOH 0,5 N, para posterior quantificação com solução ácida através da titulometria de neutralização. Foram utilizados 200 g de solo de cada parcela, incubados em potes de vidro hermeticamente fechados no escuro, contendo um frasco com 10 mL de KOH 0,5 N para captura do CO_2 desprendido do solo. A cada sete dias de incubação, durante três semanas, a solução de KOH com CO_2 absorvido foi titulada com uma solução padronizada de HCl 0,1 N. Utilizou-se fenolftaleína como indicador para o KOH não reagido e após sua viragem, adicionou-se metil orange como indicador para o carbonato formado pela reação entre o KOH e o CO_2 evoluído. Para o calculo foi utilizada a formula a seguir:

$$\text{RESP (mg CO}_2\text{/g solo/dia)} = (A - B) \times 2 \times 2,2 / 1000 / 200 / T$$

Onde:

A = diferença em mL entre a 1ª e 2ª viragem das amostras; B= diferença em mL entre 1ª e 2ª viragem da testemunha; X 2= referente a titulação de apenas metade do carbonato do frasco da amostra pelo HCl 0,1 N; X 2,2= referente ao equivalente-grama do CO_2 ($44/2=22$) e o uso de HCl 0,1 N (decinormal), ficando então $22/10=2,2$ (para cada molécula de carbonato formado corresponde uma molécula de CO_2 absorvido); 1000= transformação de mg em μg ; 200= quantidade de solo (em g); T= tempo de incubação da amostra em dias (21 dias).

3.9 Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) é a relação entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993), e tem sido utilizada para estimar a eficiência do uso do substrato pelos microrganismos do solo. Para o cálculo do quociente metabólico, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$qCO_2 \text{ (mg C-CO}_2\text{/mg CBM/hora)} = \text{RBS (mg C-CO}_2\text{/g solo/hora)} / \text{CBM (mg C/g solo)}$$

Onde: RBS = Respiração Basal do Solo; CBM = Carbono da biomassa microbiana.

3.10 Número mais provável de fungos e bactérias do solo (NMP)

Para determinar a comunidade microbiana no solo foi utilizada a técnica do número mais provável (NMP) em plaqueamento por gotas conforme descrito por Jahnel, Cardoso e Dias et al. (1999), procedendo-se a diluição em série à extinção. Foram pesados 10 g de cada amostra de solo e adicionadas em frascos contendo 90 mL de solução salina (0,85%). Os frascos foram agitados por dez minutos a 150 rpm em agitador circulante. Deste frasco foram preparadas as diluições, sendo que para bactérias as diluições foram de 10^{-3} a 10^{-8} e pra fungos as diluições foram de 10^{-2} a 10^{-7} .

Em seguida foram tomadas alíquotas de 0,1 mL, de cada amostra, com auxílio de micropipeta adicionando em tubos contendo 0,9 mL de meio de cultura com Agar a 1% e mantido previamente em banho-maria 45°C. Os meios de cultura utilizados foram:

- Meio Martin para fungos (MARTIN, 1950): 1 g de KH_2PO_4 , 1 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 5 g de peptona, 10 g de dextrose, com exclusão de rosa bengala e estreptomicina, 10 g de ágar, dissolvidos em 1 L de água deionizada para fungos;

- Ágar nutriente para bactérias (BURNETT et al., 1957): 5 g de peptona, 3 g de extrato de carne, 10 g de NaCl, 10 g de Agar, dissolvidos em 1 L de água deionizada).

O plaqueamento foi realizado com gotas dos respectivos meios de cultura, em alíquotas de 0,040 mL/gota, com auxílio de micropipeta, utilizando cinco gotas de cada diluição, dispostas uma ao lado da outra em placas de Petri de plástico estéreis. Em seguida as placas foram vedadas com Parafilm™ para impedir perda de água, e incubadas em estufa para D.B.O. (demanda bioquímica de oxigênio), a 28°C por um período de 48 h. Após o período de incubação, foi verificado, com o auxílio de uma lupa, o número de gotas positivas, ou seja, aquelas em que ocorreu o crescimento de pelo menos um microrganismo do grupo de interesse.

O crescimento em uma gota mostra que pelo menos um propágulo, capaz de se desenvolver, foi transferido para o meio de cultura. A partir dos resultados obtidos em cada uma das diluições, foi estimado o número mais provável (NMP) de microrganismos com o auxílio de uma tabela de probabilidade de ocorrência - Tabela de McCrady (HUNGRIA; ARAUJO & ARAUJO, 1994).

3.11 Análise estatística dos resultados

As variáveis estudadas foram submetidas a análise de variância (ANOVA), com blocos ao acaso, e no caso de diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 10%. Utilizou-se o programa estatístico desenvolvido por Brugnaro (2010), disponível na página do CCA/UFSCar *campus* Araras-SP.

Também foram realizadas análises multivariadas para formação de conglomerados e classificação segundo o grau de similaridade em dendogramas, validadas por correlação cofenética que, basicamente, trata-se do coeficiente r de Pearson, calculado entre índices de similaridade da matriz original e os índices reconstituídos com base no dendograma (VALENTIN, 2000). O critério empregado baseou-se em Dancey e Reidy (2005) que apontam uma classificação de $r = 0,10$ a $0,30$ (fraco); $r = 0,40$ a $0,60$ (moderado) e $r = 0,70$ a $1,0$ (forte). Como ainda não

existe uma teoria que diga em qual altura deve-se fazer o corte no gráfico, é o pesquisador quem decide (VICINI, 2005). Para Valentim (2000) a decisão sobre o número total de conglomerados a constatarem na análise, caberá ao pesquisador, pois esta dependerá de cada pesquisa conforme as seguintes etapas: a) formulação do problema; b) tratamento de dados; c) escolha de um coeficiente de semelhança; d) escolha de um processo de aglomeração; e) avaliação e interpretação dos resultados. Por essa razão, adotou-se padronizar a altura da “Linha de Fenon” em um valor que corresponda a 50% da escala de distância dos dendogramas.

Para as análises estatísticas os dados originais de carbono da biomassa microbiana, respiração basal, $q\text{CO}_2$ e parâmetros químicos do solo foram transformados empregando-se a expressão $\sqrt{X} + 1$, onde X corresponde ao valor original obtido em cada variável. Para os valores do número mais provável de fungos e bactérias do solo (plaqueamento), os dados originais foram transformados em logaritmo na base 10.

					conclusão
Tratamentos	H+Al	Al	SB	CTC	V
	mmol _c /dm ³				%
T1 86 CT	56.0	3.2	30.2	86.2	35.6
T2 96 CT	49.0	1.9	36.7	85.7	42.9
T3 85 CT	55.3	2.8	31.0	86.3	36.5
T4 86 OG	37.3	0.6	56.1	93.4	59.4
T5 96 OG	44.5	1.0	39.4	83.9	47.8
T6 85 OG	36.3	0.7	53.1	89.3	57.7
T7 86 CV	33.8	0.8	44.6	78.4	56.7
T8 96 CV	34.3	1.0	50.9	85.1	60.2
T9 85 CV	46.3	1.3	42.3	88.5	48.0

4.1.1 Fósforo (P)

O valor médio de P, dos tratamentos controle, foi de 2,6 muito próximo dos 3,0 obtidos em área total, antes da instalação do experimento, indicando forte compatibilidade entre esses valores e reforçando que as parcelas controle do experimento são confiáveis, mesmo apresentando diferença menor, devido a demanda de fósforo pela cana-de-açúcar.

A Tabela 9 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos. Pode-se observar que apesar de todo controle adotado o coeficiente de variação CV (%) obtido foi muito alto, sem dúvida esse fato pode ter interferido na não detecção de variações. O teste de Tukey confirma essa observação não apresentando diferenças estatística entre tratamentos ao nível de 10% de probabilidade, embora o tratamento T4 86 OG (6,1804) seja quase 2,5 vezes maior que o tratamento controle T1 86 CT (2,4784).

Tabela 9. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável fósforo (P resina), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1,53	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	3,69	T4 86 OG	6,1804	a
Desvio-padrão	2,47	T6 85 OG	5,9659	a
DMS (10%)	5,34	T8 96 CV	4,7549	a
CV (%)	66,77	T9 85 CV	3,2744	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T3 85 CT	2,7008	a
DMS: diferença mínima significativa		T7 86 CV	2,6752	a
CV: coeficiente de variação.		T2 96 CT	2,6250	a
		T5 96 OG	2,5729	a
		T1 86 CT	2,4784	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Apesar da aceitação exigida para um experimento científico, e a análise estatística convencional não ter detectado diferença significativa entre os tratamentos, através do emprego da análise multivariada, com distância euclidiana, pode-se ao menos visualizar aparentes diferenças observadas entre as médias dos tratamentos, formando três grupamentos, determinado pela “Linha de Fenon” com distância 6,4 e coeficiente de correlação cofenética forte (0,927) (Figura 12). Em ordem decrescente de valores observa-se o primeiro grupo corresponde ao tratamento T685OG, o segundo grupo constituído pelos tratamentos T486OG e T896CV, e finalmente um terceiro grupo formado pelos tratamentos T596OG, T786CV, T186CT, T296CT, T385CT e T985CV.

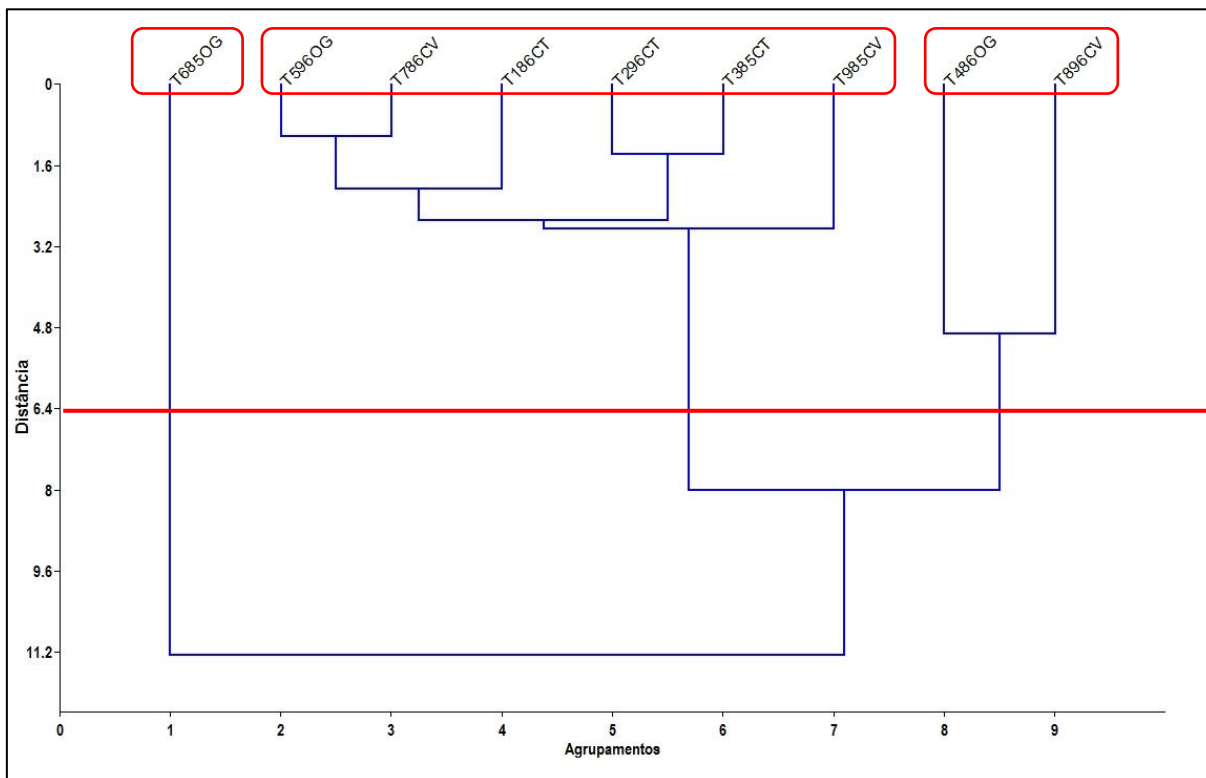


Figura 12. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável fósforo.

Aceitando que os resultados experimentais obtidos reflitam a ocorrência reais na relação solo-planta pode-se inferir a possibilidade dos tratamentos convencionais e orgânicos terem apresentado o mesmo comportamento, portanto o mesmo valor agrônomo enquanto insumo, fonte de nutrientes, concordando com Garcia (2005); Matos et al. (2011); Santos et al. (2008) e Ourives et al.(2010).

4.1.2 Matéria orgânica (MO)

A Tabela 10 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos. Pode-se observar que o coeficiente de variação CV (3,76%) foi baixo considerando-se ser um experimento de campo, indicando confiabilidade nos valores observados. O teste F (0,58) foi não significativo para 10%. O teste de Tukey confirma essa ausência de variação, não detectando diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, mesmo porque a diferença entre o maior e o menor valor não ultrapassa 0,05 indicando absoluta igualdade entre si.

Tabela 10. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável matéria orgânica (M.O.), com transformação $\sqrt{X}+1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0,58	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	6,21	T7 86 CV	6,3476	a
Desvio-padrão	0,23	T3 85 CT	6,3001	a
DMS (10%)	0,51	T9 85 CV	6,2553	a
CV (%)	3,76	T1 86 CT	6,2213	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T6 85 OG	6,2004	a
DMS: diferença mínima significativa		T8 96 CV	6,1930	a
CV: coeficiente de variação.		T5 96 OG	6,1920	a
		T4 86 OG	6,1504	a
		T2 96 CT	6,0358	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Concordando com a análise estatística convencional, quando empregada aos mesmos dados, a análise multivariada em distância euclidiana com coeficiente de correlação cofenética igual a 0,904 (forte), observa-se a não formação de grupos distintos, exceto considerando distâncias insignificantes com “Linha de Fenon” menor do que 1. Confirmando mais uma vez que não existe diferença entre os tratamentos estudados (Figura 13).

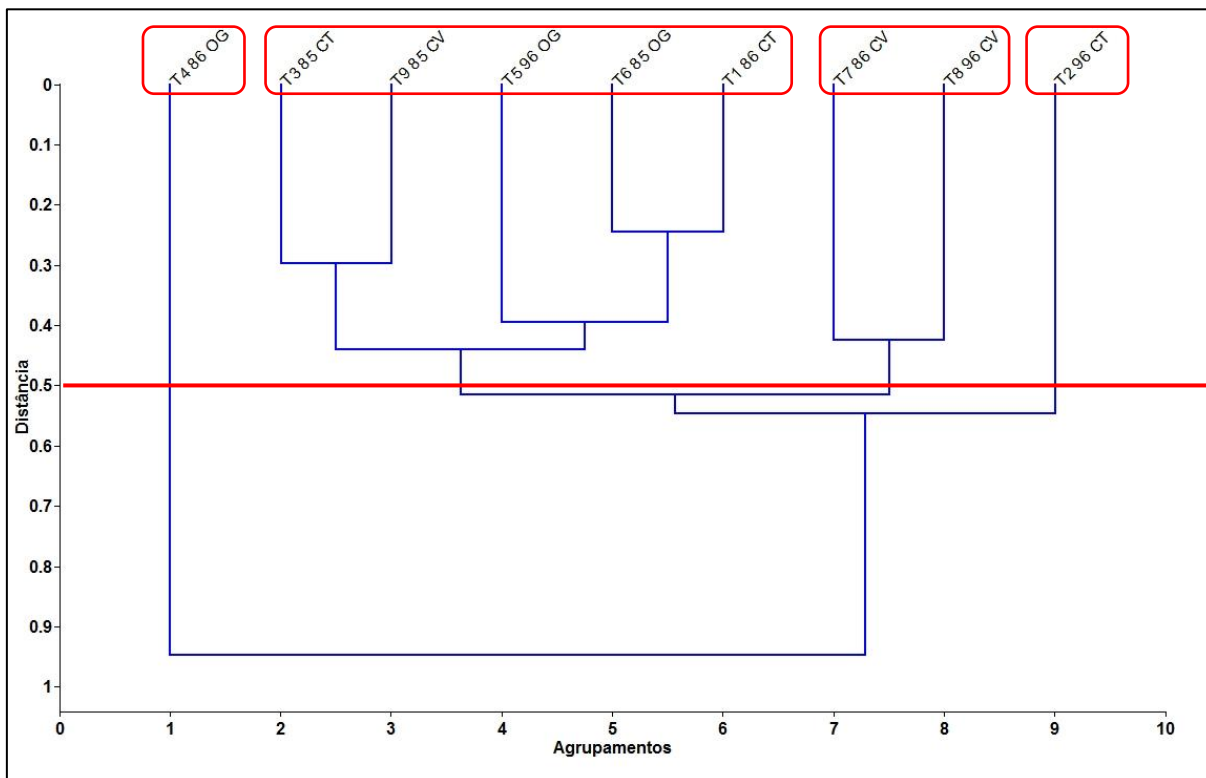


Figura 13. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável matéria orgânica.

Esses resultados concordam com as observações de Silva et al. (2009) cultivo de carvoeiro, Fontana et al (2006) solo sob pousio e Ciabotti (2013), trabalhando com o mesmo tipo de solo (latossolo vermelho). Por outro lado, Ourives et al. (2010) trabalhando com latossolo franco-areno-argiloso, em cultivo com brachiaria, observou incremento dos teores de M.O. do solo quando aplicadas doses crescentes do adubo orgânico Bokashi, 60 dias após a fertilização. Para este experimento, as quantidade de fertilizante orgânico não foram suficientemente altas para se detectar alterações nos níveis de M.O. no período estudado.

Latossolos vermelhos geralmente possuem baixo teor de matéria orgânica, baixa fertilidade natural devido ao intemperismo e constituídos por material mineral (EMBRAPA, 2006), tendo suas propriedades químicas e físicas bem caracterizadas (TAWORNPRUEK et al., 2006). Devido a presença de óxidos de alumínio e ferro oriundos da fração argila, possuem elevada estabilidade de agregados, o manejo é facilitado por sua baixa densidade com grande volume de macroporos (FERREIRA et al., 2010). Em sua maioria são solos ácidos com baixa saturação por bases, distrófico ou alumínicos. De acordo com Fontana (2006), latossolos brasileiros

possuem teores de carbono entre 0,44 a 4,48%, podendo ocorrer variações, como observado pelo referido autor no Estado de Minas Gerais, com teores entre 0,6 a 2,23%.

4.1.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

A Tabela 11 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos para pH. O coeficiente de variação CV foi 3,71% e o teste F (4,16) significativo para 1% de probabilidade. O teste de Tukey detecta diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos a 10% de probabilidade. Os tratamentos T486OG e T786CV comportaram-se igualmente apresentando os maiores valores de pH contrastando com os tratamentos controles T385CT e T186CT. Os demais ocuparam posições intermediárias. Esses resultados parecem indicar que a capacidade de neutralização entre esses dois insumos orgânico e mineral são equivalentes, pelo menos quando comparados as parcelas controle.

Tabela 11. Resultados estatísticos da análise de variância e teste de Tukey, para a variável pH, com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	4,16**	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	2,46	T4 86 OG	2,5674	a
Desvio-padrão	0,09	T7 86 CV	2,5580	a
DMS (10%)	0,20	T6 85 OG	2,5474	ab
CV (%)	3,71	T8 96 CV	2,5240	abc
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	2,4646	abc
DMS: diferença mínima significativa		T9 85 CV	2,4082	abc
CV: coeficiente de variação.		T2 96 CT	2,3821	abc
		T3 85 CT	2,3505	bc
		T1 86 CT	2,3345	c

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Os mesmos dados submetidos a análise multivariada e com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo na escala do dendograma (Figura 14) a 0,2 com coeficiente de correlação cofenética 0,888 (forte), determina cinco agrupamentos distintos concordando, em grande parte, com as observações do teste de Tukey.

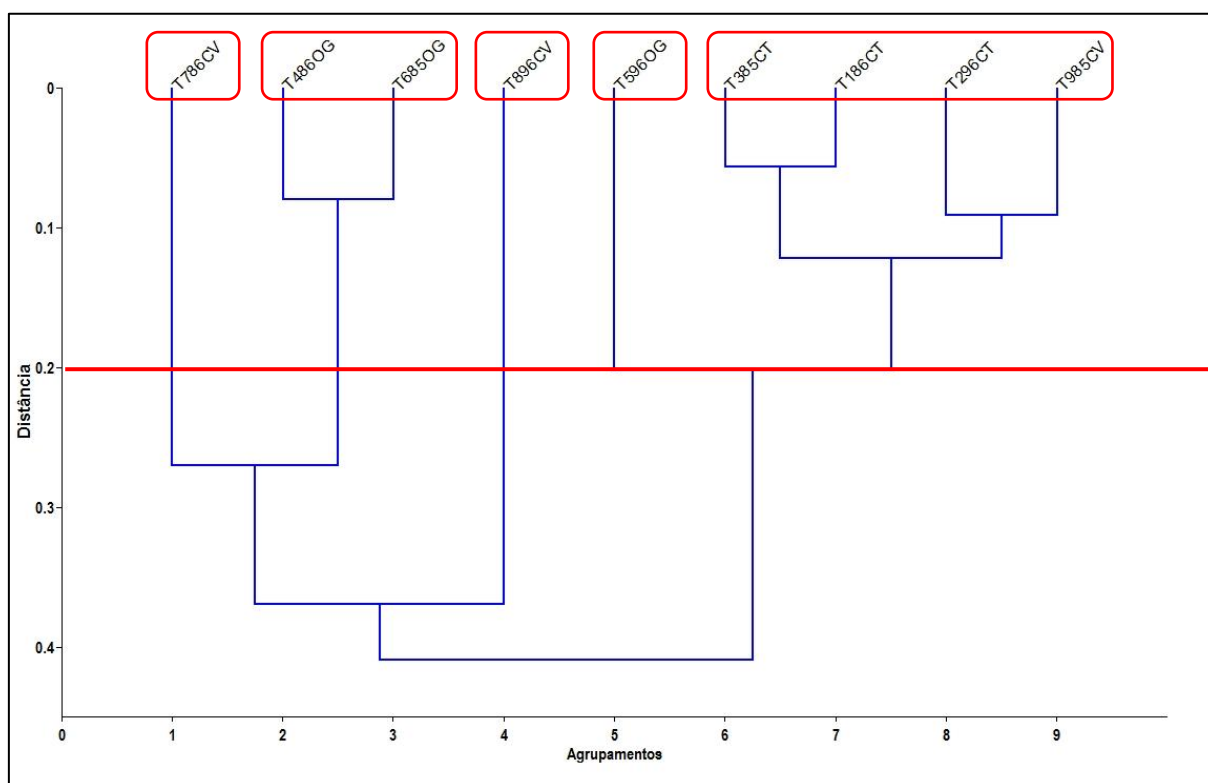


Figura 14. Dendrograma dos agrupamentos em distância euclidiana da variável pH.

Esses resultados concordam com os obtidos por Zorel (2011) que utilizou o mesmo fertilizante orgânico em seu estudo (Visafertil). O mesmo não ocorreu com os dados de Ourives et al. (2010) que não observou diferença estatísticas de pH entre seus tratamentos, comparando adubação mineral com adubação orgânica Bokashi. Parece haver uma relação entre concentrações crescentes de M.O. no solo, com aplicação de Bokashi, mas que não influenciaram nos valores de pH, resultado oposto ao obtido neste experimento.

4.1.4 Potássio (K)

A Tabela 12 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos da variável potássio. O coeficiente de variação CV (%) obtido foi aceitável para experimento um de campo (22,14) mas o teste F (1,27) não indicou variações significativas. O teste de Tukey (10%) também confirma essa ausência de variação, não detectando diferenças estatísticas significativas entre tratamentos.

Tabela 12. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável potássio (K), com transformação $\sqrt{X}+1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1,27	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1,77	T4 86 OG	2,1408	a
Desvio-padrão	0,39	T6 85 OG	1,9899	a
DMS (10%)	0,85	T8 96 CV	1,9615	a
CV (%)	22,14	T9 85 CV	1,7899	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T2 96 CT	1,7816	a
DMS: diferença mínima significativa		T5 96 OG	1,6828	a
CV: coeficiente de variação.		T7 86 CV	1,5878	a
		T3 85 CT	1,5382	a
		T1 86 CT	1,4942	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada e com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo na escala do dendograma (Figura 15) a 0,8 e coeficiente de correlação cofenética 0,913 (forte) foram determinados quatro agrupamentos distintos concordando em parte, com as classificação das médias do teste de Tukey, ao menos para os tratamentos T486OG, T685OG e T896CV. Os agrupamentos obtidos não seguiram, como um todo, a mesma ordenação de médias do teste de Tukey.

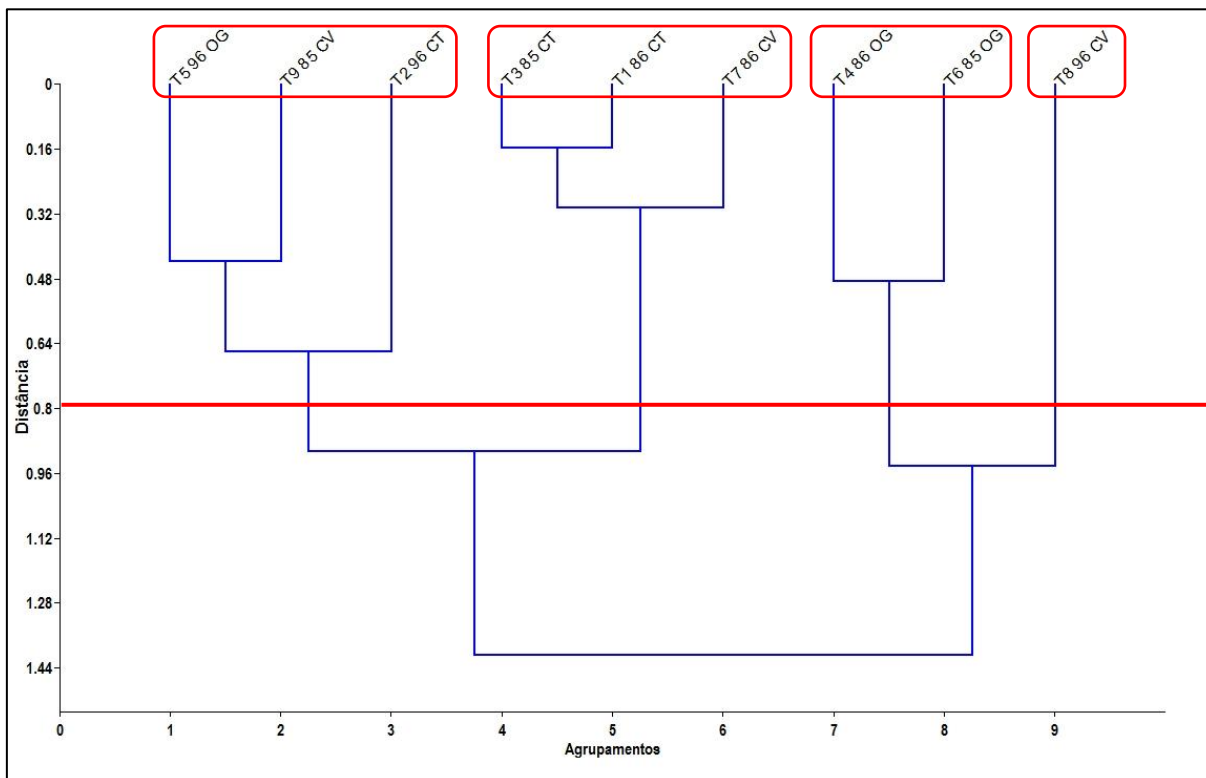


Figura 15. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável potássio.

Os resultados obtidos para K concordam com Ourives et al. (2010) em sua observação por um período de 60 dias entre adubação e leitura. Concordam também com Zorel (2011) em sua observação por um período de 16 meses. Por outro lado, Almeida et al. (2005) verificaram após seis anos de cultivo em sistema de plantio direto um aumento significativo no teor de K em relação ao preparo convencional. Provavelmente o curto período de tempo (120 dias) do experimento pode não ter sido suficiente para se detectar possíveis alterações no teores de K.

4.1.5 Cálcio (Ca)

Na Tabela 13 estão contidos os dados estatísticos obtidos da variável cálcio. O coeficiente de variação CV (17, 25%) aceitável para experimento de campo. O teste F (1,97) foi significativo para 10% de probabilidade para tratamentos, mas o teste de Tukey (10%) não detectou variações entre tratamentos.

Tabela 13. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável cálcio (Ca), com transformação $\sqrt{X}+1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1,97	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	5,33	T4 86 OG	6,2895	a
Desvio-padrão	0,92	T6 85 OG	5,9656	a
DMS (10%)	1,99	T8 96 CV	5,9425	a
CV (%)	17,25	T7 86 CV	5,5348	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T9 85 CV	5,2480	a
DMS: diferença mínima significativa		T5 96 OG	5,0951	a
CV: coeficiente de variação.		T2 96 CT	4,9180	a
		T3 85 CT	4,5387	a
		T1 86 CT	4,4747	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 2,0 na escala do dendograma (Figura 16) e coeficiente de correlação cofenética 0,913 (forte) determinou-se três agrupamentos distintos concordando em parte, com as classificação decrescente das médias do teste de Tukey, agrupando-os de acordo com os valores de Ca, ao menos para os tratamentos T486OG, T685OG e T896CV.

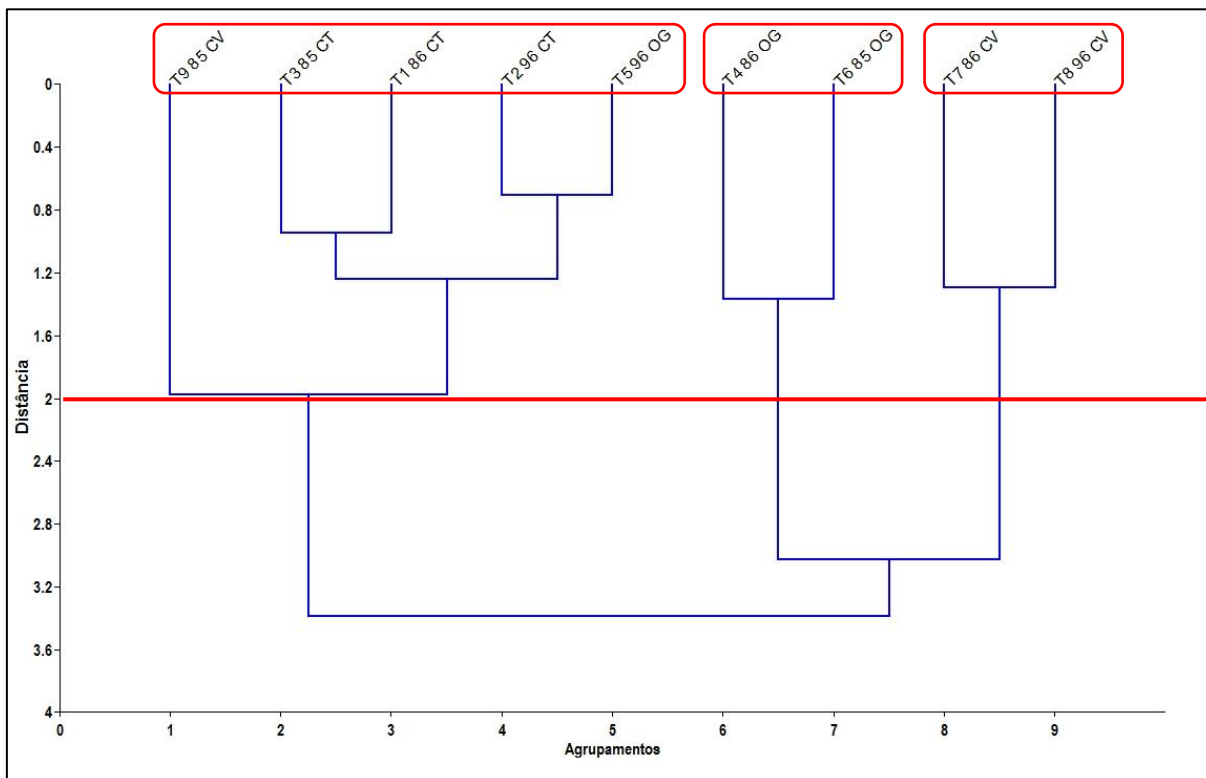


Figura 16. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável cálcio.

Almeida et al. (2005) e Santos (2010) observaram uma tendência de aumento no teor de Ca em sistema de plantio direto e/ou orgânico frente a adubação mineral por longos períodos. Zorel (2011) observou aumento do teor de Ca num período de 16 meses, por outro lado Ourives et al. (2010) não observou diferenças significativas num período de 60 dias, concordando com as observações deste experimento ocorridas num período de 120 dias. Portanto, uma variação nos teores de cálcio, advindos de fontes orgânicas, pode ser melhor detectada em períodos longos de tempo.

4.1.6 Magnésio (Mg)

Na Tabela 14 contem o resumo dos dados estatísticos para variável Mg, com coeficiente de variação CV de 3,51%, teste F (7,91) significativo para 1%. O teste de Tukey confirma essa variação, detectando diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Pelos resultados observados os tratamentos com adubação orgânica e mineral foram equivalentes, apresentando as maiores

concentrações de Mg no solo, estatisticamente significativa quando comparados aos tratamentos controle.

Tabela 14. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável magnésio (Mg), com transformação $\sqrt{X}+1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	7,91**	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	3,57	T6 85 OG	3,7608	a
Desvio-padrão	0,13	T7 86 CV	3,7167	ab
DMS (10%)	0,27	T4 86 OG	3,7015	ab
CV (%)	3,51	T9 85 CV	3,6637	ab
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	3,6534	ab
DMS: diferença mínima significativa		T8 96 CV	3,5943	ab
CV: coeficiente de variação.		T2 96 CT	3,4825	bc
		T1 86 CT	3,2992	c
		T3 85 CT	3,2936	c

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 0,4 na escala do dendograma (Figura 17) e coeficiente de correlação cofenética 0,908 (forte) foram determinados três agrupamentos e indicando mais uma vez classificação decrescente das médias do teste de Tukey, agrupando-os de acordo com os valores de Mg e separando os tratamentos controle dos demais.

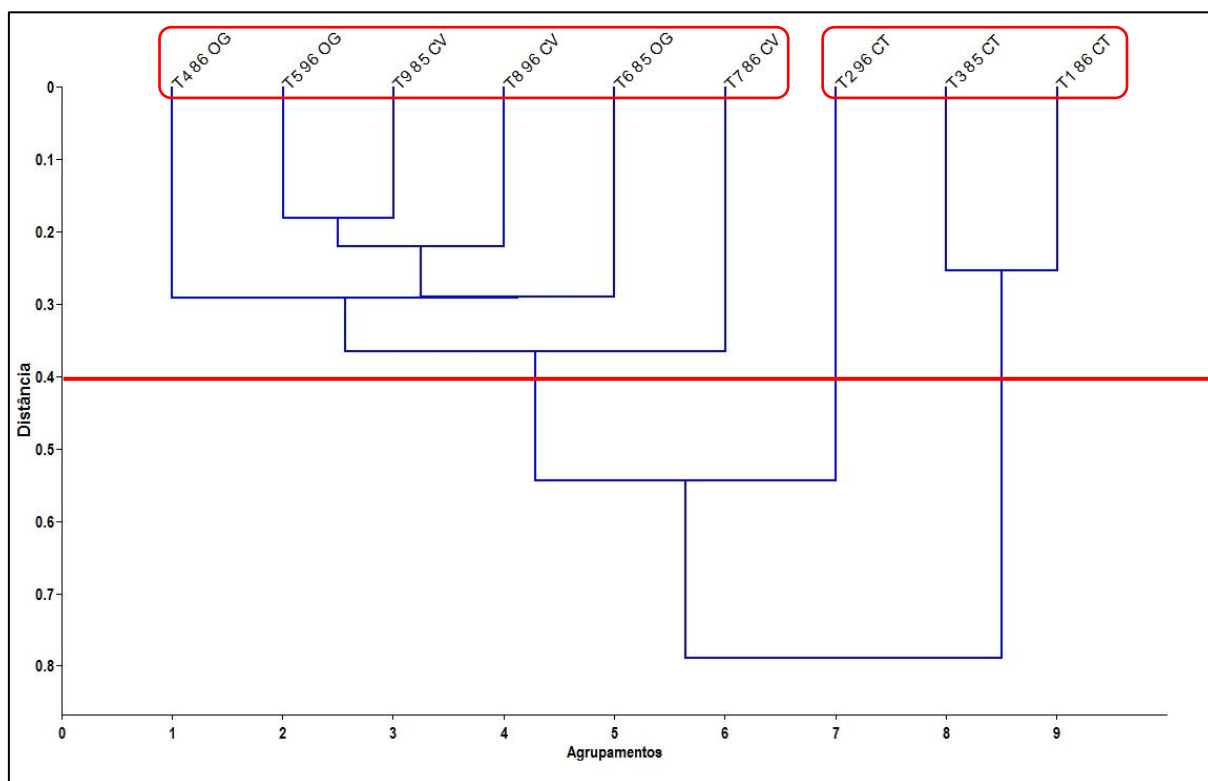


Figura 17. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável magnésio.

Os resultados obtidos concordam com Ourives et al. (2010), Santos (2010) e Zorel (2011), este último autor destaca o fato das concentrações de Mg observadas variarem em relação ao tempo, sendo setembro à julho o período com maiores valores e março à abril com menores valores. Esse fenômeno pode indicar que a amostragem de solo deve considerar o período de desenvolvimento da cultura em questão.

4.1.7 Acidez potencial (H+Al)

A Tabela 15 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos. O coeficiente de variação obtido foi de 16,37 teste F (1,60) não significativo a 10%. O teste de Tukey também não apresentou variações estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 15. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável acidez potencial (H + Al), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1,60	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	6,58	T1 86 CT	7,5180	a
Desvio-padrão	1,08	T3 85 CT	7,4686	a
DMS (10%)	2,33	T2 96 CT	7,0623	a
CV (%)	16,37	T9 85 CV	6,7728	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	6,6793	a
DMS: diferença mínima significativa		T4 86 OG	6,1001	a
CV: coeficiente de variação.		T6 85 OG	6,0068	a
		T7 86 CV	5,8648	a
		T8 96 CV	5,7426	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 2,0 na escala do dendograma (Figura 18) e coeficiente de correlação cofenética 0,848 (forte) foram determinados seis agrupamentos e indicando mais uma vez classificação decrescente das médias do teste de Tukey, agrupando-os de acordo com os valores de H+Al e separando os tratamentos controle dos demais, inversamente proporcional aos valores de pH, discutidos anteriormente.

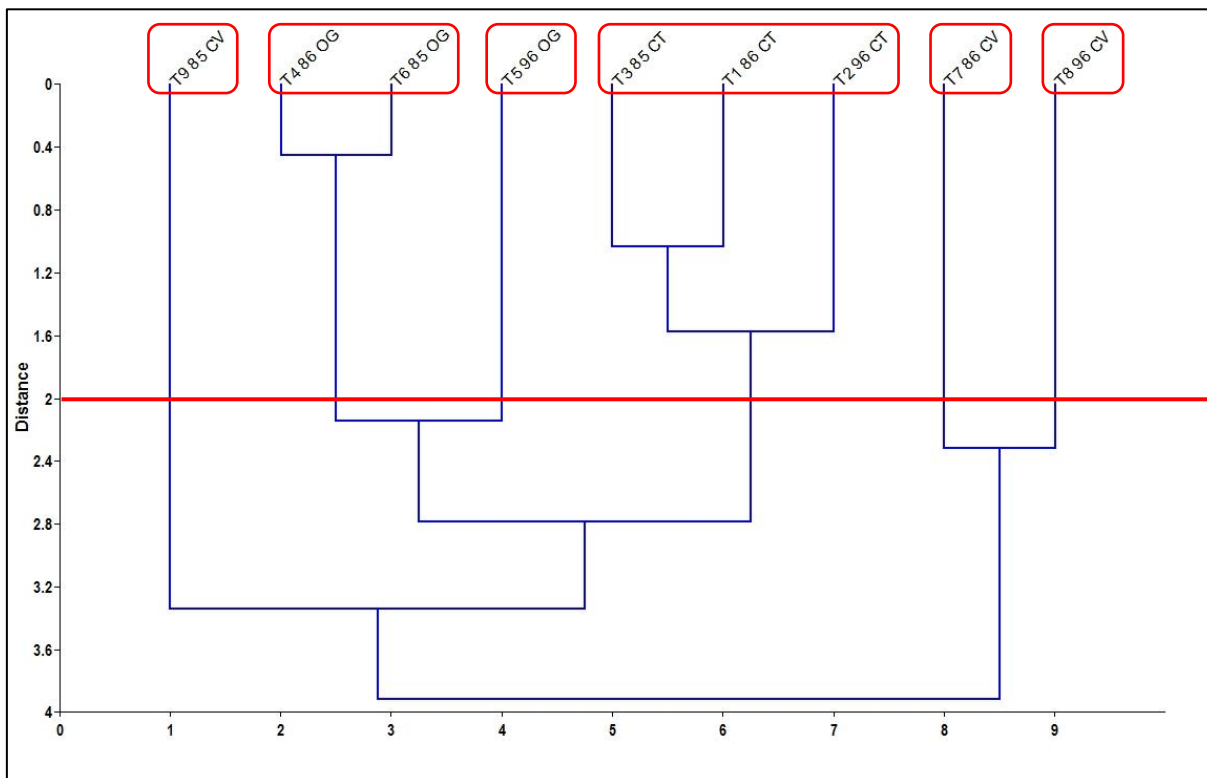


Figura 18. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável acidez potencial.

Almeida et al. (2005) e Zorel (2011) obtiveram resultados semelhantes e apresentando diferenças estatisticamente significativas de maior acidez potencial nos sistemas convencionais em relação aos sistemas orgânicos. No presente experimento, embora não se obtendo diferenças estatísticas significativas entre os dois sistemas, apenas a análise multivariada concorda com os resultados dos referidos autores.

4.1.8 Alumínio (Al)

A Tabela 16 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos para a variável alumínio. O coeficiente de variação obtido foi de 9,96% teste F (13,83) significativo a 1%. O teste de Tukey (10%) confirma essa variação, detectando diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Os tratamentos controle apresentaram maiores concentrações de Al no solo, diferindo dos tratamentos convencionais com valores intermediários sendo os tratamentos orgânicos os que apresentaram as menores concentrações.

Tabela 16. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável alumínio (Al), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	13,83**	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1,54	T1 86 CT	2,0508	a
Desvio-padrão	0,15	T3 85 CT	1,9335	ab
DMS (10%)	0,33	T2 96 CT	1,6878	bc
CV (%)	9,96	T9 85 CV	1,5151	cd
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	1,3997	cd
DMS: diferença mínima significativa		T8 96 CV	1,3983	cd
CV: coeficiente de variação.		T7 86 CV	1,3217	d
		T6 85 OG	1,3030	d
		T4 86 OG	1,2732	d

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 0,64 na escala do dendograma (Figura 19) e coeficiente de correlação cofenética 0,847 (forte) foram determinados três agrupamentos e indicando novamente classificação decrescente das médias do teste de Tukey, agrupando-os de acordo com os valores de Al e separando os tratamentos controle dos demais, indicando mais uma vez a eficácia dos tratamentos orgânicos na redução da concentração de Al no solo em um curto período.

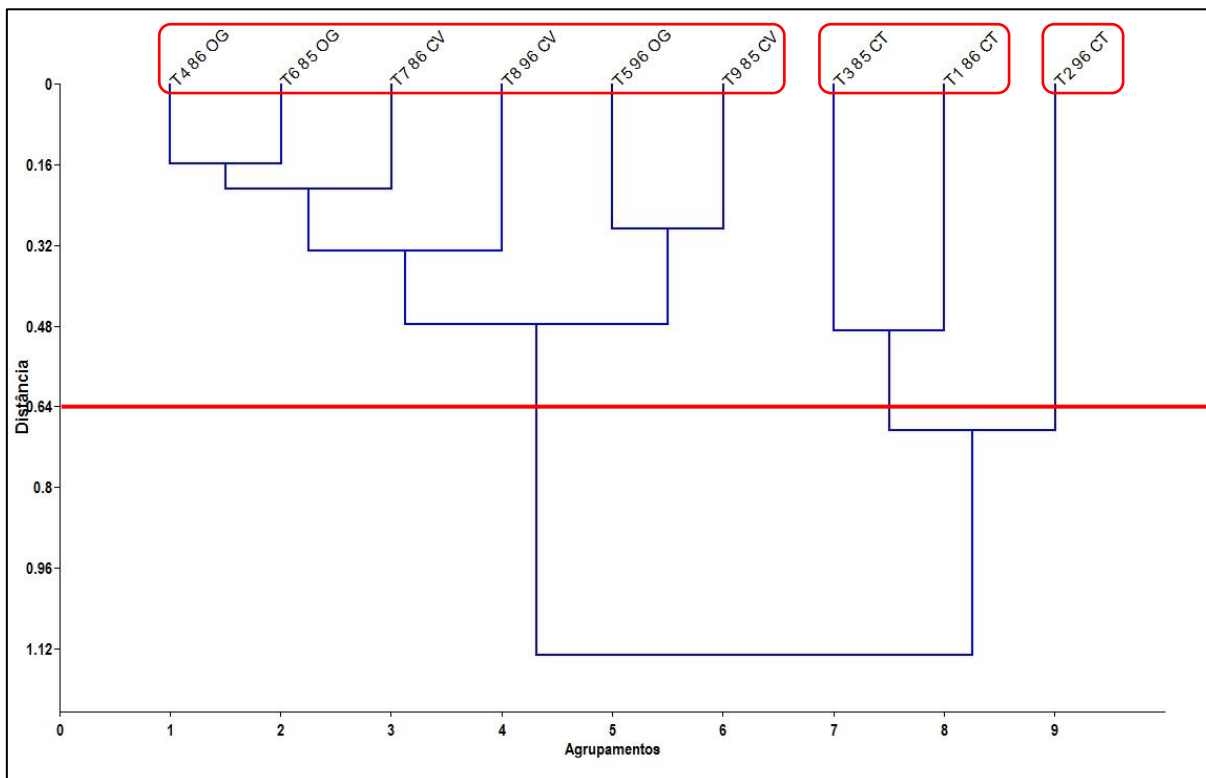


Figura 19. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável alumínio.

Os resultados observados concordam com Andreola et al. (2000), Pavinato, Merlin e Rosolem.(2009) e Roquim (2010) quanto a redução dos níveis de Al em solos sob manejo orgânico, seja através de sistema de plantio direto ou uso de esterco. Contudo, Zorel (2011) observou a redução da concentração de Al entre manejos orgânico e convencional ao longo do tempo (16 meses), embora não tenha detectado diferenças estatísticas significativas.

4.1.9 Soma de bases (SB)

A Tabela 17 contém o resumo dos dados estatísticos para a variável soma de bases, o coeficiente de variação foi de 12,77% e teste F 2,62 significativo ao nível de 5%. Por sua vez, o teste de Tukey confirma essa variação, detectando diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Os tratamentos orgânicos obtiveram médias mais elevadas, com destaque para T486OG (maior média), seguidos pelos tratamentos convencionais e por fim, os tratamentos controle com valores inferiores.

Tabela 17. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável saturação por bases (SB), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	2,62*	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	6,53	T4 86 OG	7,4837	a
Desvio-padrão	0,83	T6 85 OG	7,2162	ab
DMS (10%)	1,81	T8 96 CV	7,1284	ab
CV (%)	12,77	T7 86 CV	6,7225	ab
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T9 85 CV	6,5124	ab
DMS: diferença mínima significativa		T5 96 OG	6,3404	ab
CV: coeficiente de variação.		T2 96 CT	6,1338	ab
		T3 85 CT	5,6475	b
		T1 86 CT	5,5843	b

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 2,0 na escala do dendograma (Figura 20) e coeficiente de correlação cofenética 0,829 (forte), foram determinados quatro agrupamentos e que evidenciam uma classificação decrescente das médias do teste de Tukey, agrupando-os de acordo com os valores de SB e separando os tratamentos orgânicos (T486OG e T85OG) e convencionais (T896CV e T786CV) dos demais, principalmente dos tratamentos controle.

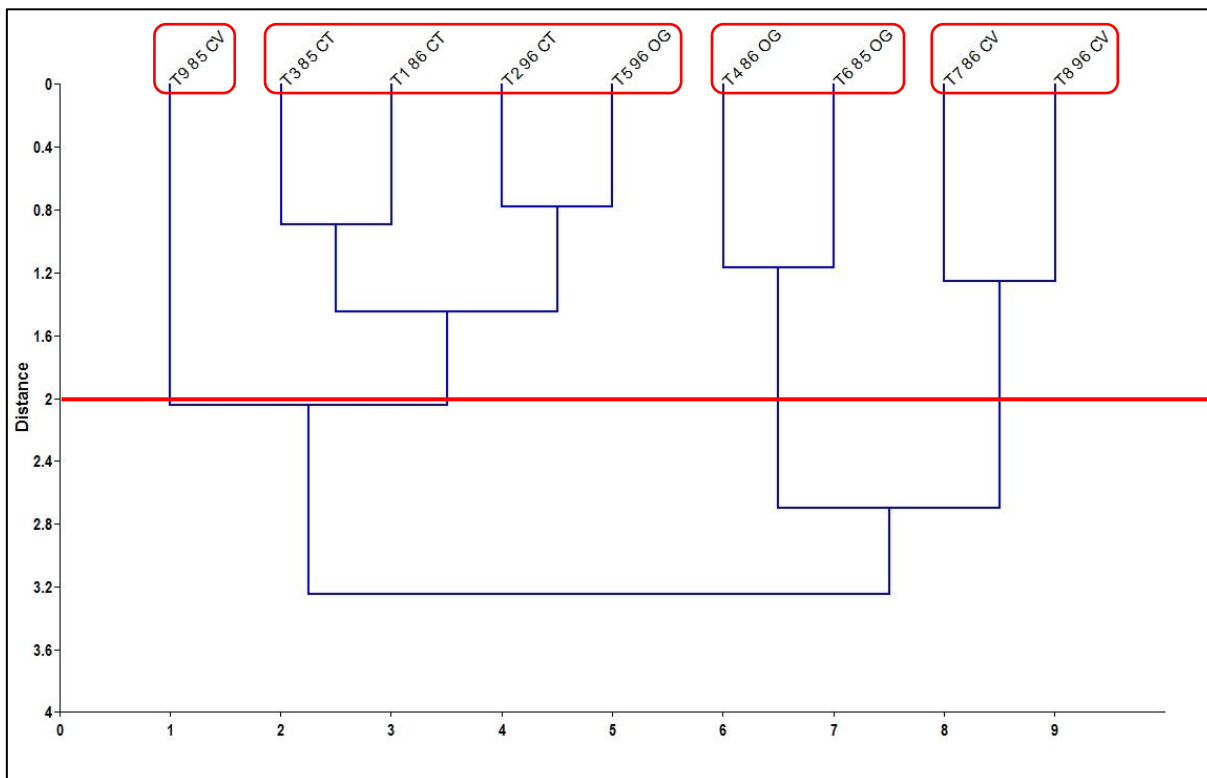


Figura 20. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável saturação por bases.

Os resultados obtidos concordam com os de Zorel (2011), que observou aumento nos valores de SB principalmente nos tratamentos orgânicos, com tendência a estabilização ao longo do tempo (16 meses). Por outro lado Ciabotti (2013) observou valores muito baixos, atribuindo o fato aos tipos de solo estudados e de baixa fertilidade. Como considera Silva et al. (2007b) a SB é um excelente indicativo de fertilidade do solo, justamente por ser composta pela soma dos teores de K, Ca e Mg, afirmando por conseguinte que valores altos correspondem a solos férteis; este fato atende às expectativas do emprego do fertilizante orgânico composto formulado aqui estudado, que tem por proposta aumentar a fertilidade e consequentemente a qualidade do solo, como alternativa à utilização de insumos minerais.

4.1.10 Capacidade de troca catiônica (CTC)

A Tabela 18 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos para variável CTC que, apesar do baixo coeficiente de variação obtido (CV 5,83%) o teste F (9,33) não foi significativo. O teste de Tukey (10%) também não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, com valores médios muito próximos entre si.

Tabela 18. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável capacidade de troca catiônica (CTC), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0,63	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	9,33	T4 86 OG	9,6947	a
Desvio-padrão	0,54	T6 85 OG	9,4765	a
DMS (10%)	1,18	T9 85 CV	9,4483	a
CV (%)	5,83	T3 85 CT	9,3333	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T1 86 CT	9,3307	a
DMS: diferença mínima significativa		T2 96 CT	9,3086	a
CV: coeficiente de variação.		T8 96 CV	9,2784	a
		T5 96 OG	9,1876	a
		T7 86 CV	8,9038	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 1,0 na escala do dendograma (Figura 21) e coeficiente de correlação cofenética 0,882 (forte), foram determinados cinco agrupamentos inconsistentes indicando similaridades entre tratamentos controle e convencionais ou convencionais e orgânicos. Esse fenômeno pode ser atribuído a pequena distância na escala do dendograma, se aproximando a uma não formação de grupos distintos, confirmando com a ausência de diferença entre tratamentos obtida pelo teste de Tukey.

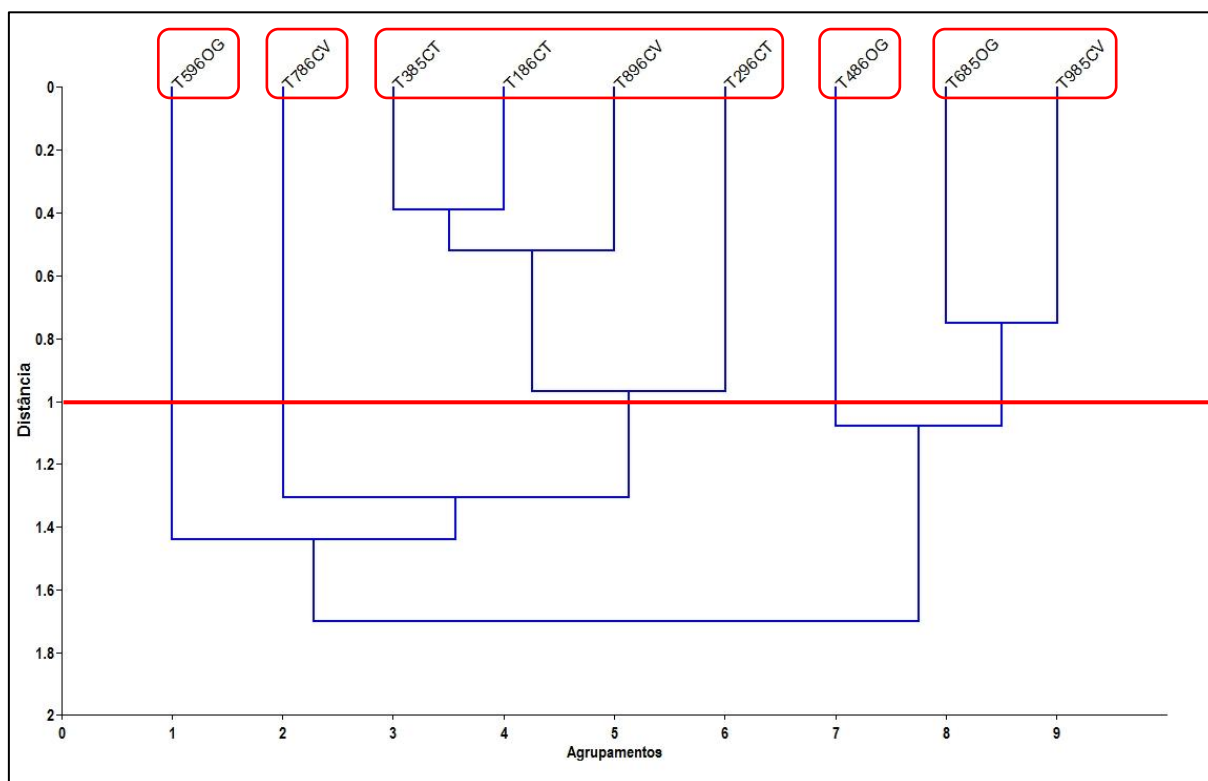


Figura 21. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável capacidade de troca catiônica.

Os resultados de ausência de diferenças estatísticas nos valores da variável CTC, obtidos neste trabalho, após período de 120 dias, concordam com os obtidos por Ourives et al. (2010) (60 dias) que também utilizaram insumos orgânicos e minerais. Concordam também com Pavinato, Merlin e Rosolem (2009) que não verificaram diferenças estatísticas nos valores de CTC em áreas com 20 anos em sistema de plantio direto. O sistema de plantio direto tem por característica de manejo não revolver o solo a cada nova cultura a ser implantada, permanecendo o solo coberto com biomassa residual das culturas, garantindo melhorias de suas propriedades (aporte de MO).

Zorel (2011) não encontrou diferenças estatísticas entre tratamentos trabalhando com insumos orgânicos e minerais, mas verificou tendência de aumento dos valores de CTC ao longo do tempo (480 dias - 16 meses), resultados parecidos foram obtidos por Ciotta (2001) e Sousa e Alves (2003), que observaram incremento de CTC do solo após 20 anos sob sistema de plantio direto. A ação da adubação orgânica, em relação a disponibilidade de nutrientes, ocorre em função de sua interação com argilas, formando o complexo argilo-húmico, que é responsável pela

melhoria da capacidade de troca catiônica, influenciando sobre a disponibilidade de fósforo e na ação estabilizadora sobre variações ambientais no solo (KIEHL, 1985; LOPES; THEODORO, 1998).

4.1.11 Porcentagem de saturação por bases (V%)

Na Tabela 19 estão contidos o resumo dos dados estatísticos obtidos para V% com coeficiente de variação de 11,79% e teste F 6,67 não significativo. O teste de Tukey (10%) não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 19. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável porcentagem de saturação por bases (V%), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	6,67	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	7,02	T4 86 OG	7,7328	a
Desvio-padrão	0,82	T8 96 CV	7,7307	a
DMS (10%)	1,79	T6 85 OG	7,5967	a
CV (%)	11,79	T7 86 CV	7,5725	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	6,9617	a
DMS: diferença mínima significativa		T9 85 CV	6,9281	a
CV: coeficiente de variação.		T2 96 CT	6,6155	a
		T3 85 CT	6,0945	a
		T1 86 CT	6,0297	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 2,0 na escala do dendograma (Figura 22) e coeficiente de correlação cofenética 0,806 (forte) foram observados quatro agrupamentos, seguindo escala decrescente das médias observada no teste de Tukey.

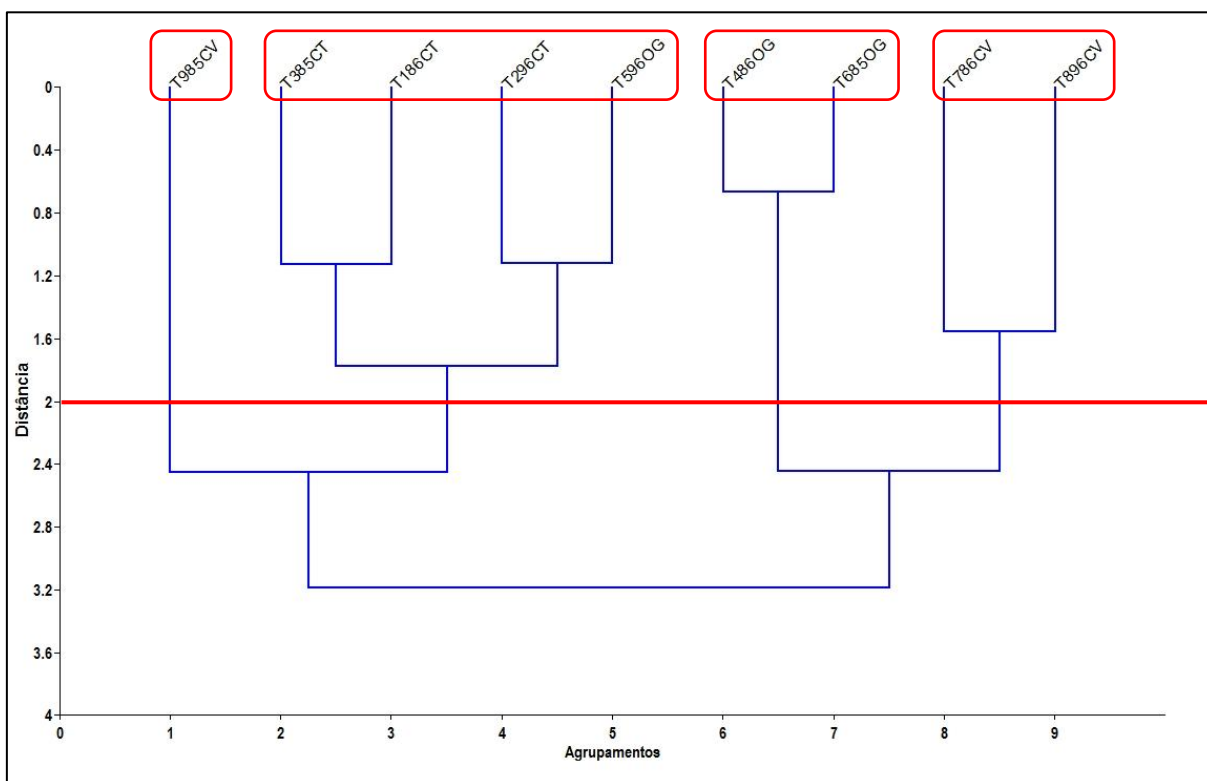


Figura 22. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável a variável porcentagem de saturação por bases.

Os valores de V% obtidos foram maiores nos tratamentos orgânicos e convencionais, caracterizando esses tratamentos como eutróficos, já os tratamentos controle apresentaram os menores índices que nos dados médios originais (Tabela 10), classificados como mesotróficos. Essas informações também foram observadas por Santos (2010) e Zorel (2011) para os tratamentos orgânicos em relação aos tratamentos convencionais.

4.2 Micronutrientes

A Tabela 20 contém os resultados originais das análises químicas de solo referente aos micronutrientes: S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, valores médios das parcelas de cada tratamento. Os resultados da análise estatística de cada elemento são discutidos individualmente para se estabelecer possíveis variações e relações de causa e efeito.

Tabela 20. Resultados da análise química de solo, valores médios dos micronutrientes

Tratamentos	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/dm ³					
T1 86 CT	34.0	0.2	2.3	41.6	39.2	0.9
T2 96 CT	33.0	0.2	2.2	37.1	43.2	1.1
T3 85 CT	45.5	0.2	2.3	41.2	36.9	1.1
T4 86 OG	36.0	0.4	2.2	35.1	41.5	2.1
T5 96 OG	39.0	0.4	2.2	36.0	36.5	1.2
T6 85 OG	35.8	0.3	2.1	37.2	36.3	2.2
T7 86 CV	41.3	0.2	2.1	29.7	36.3	1.1
T8 96 CV	42.3	0.2	2.1	34.0	39.7	1.6
T9 85 CV	45.0	0.2	2.1	33.4	42.1	1.3

4.2.1 Enxofre (S)

A Tabela 21 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos. O coeficiente de variação foi de 20,15 com valor de F 0,34 não significativo para 10%. O teste de Tukey confirmou essa falta de variação, não detectando diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 21. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável enxofre (S), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0,34	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	6,21	T9 85 CV	6,6926	a
Desvio-padrão	1,25	T3 85 CT	6,6868	a
DMS (10%)	2,71	T8 96 CV	6,5583	a
CV (%)	20,15	T7 86 CV	6,2357	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	6,2187	a
DMS: diferença mínima significativa		T4 86 OG	6,0524	a
CV: coeficiente de variação.		T1 86 CT	5,8635	a
		T2 96 CT	5,8084	a
		T6 85 OG	5,7995	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 2,5 na escala do dendograma (Figura 23) e coeficiente de correlação cofenética 0,829 (forte) foram observados quatro agrupamentos, indicando similaridades entre tratamentos controle,convencionais e orgânicos, somente tratamentos orgânicos e isolando um tratamento controle (T385CT) e um tratamento convencional (T786CV)..

IOs níveis de S no solo estão em concentrações muito elevadas quando se considera os limites de interpretação de micronutrientes extraíveis do solo conforme Vitti e Trevisan (2000), que usam os limites de interpretação contidos em CFS-RS/SC (1994), onde os valores suficientes estão em torno de 5,0 mg/dm³ a 10 mg/dm³ para culturas mais exigentes em enxofre, como as leguminosas.

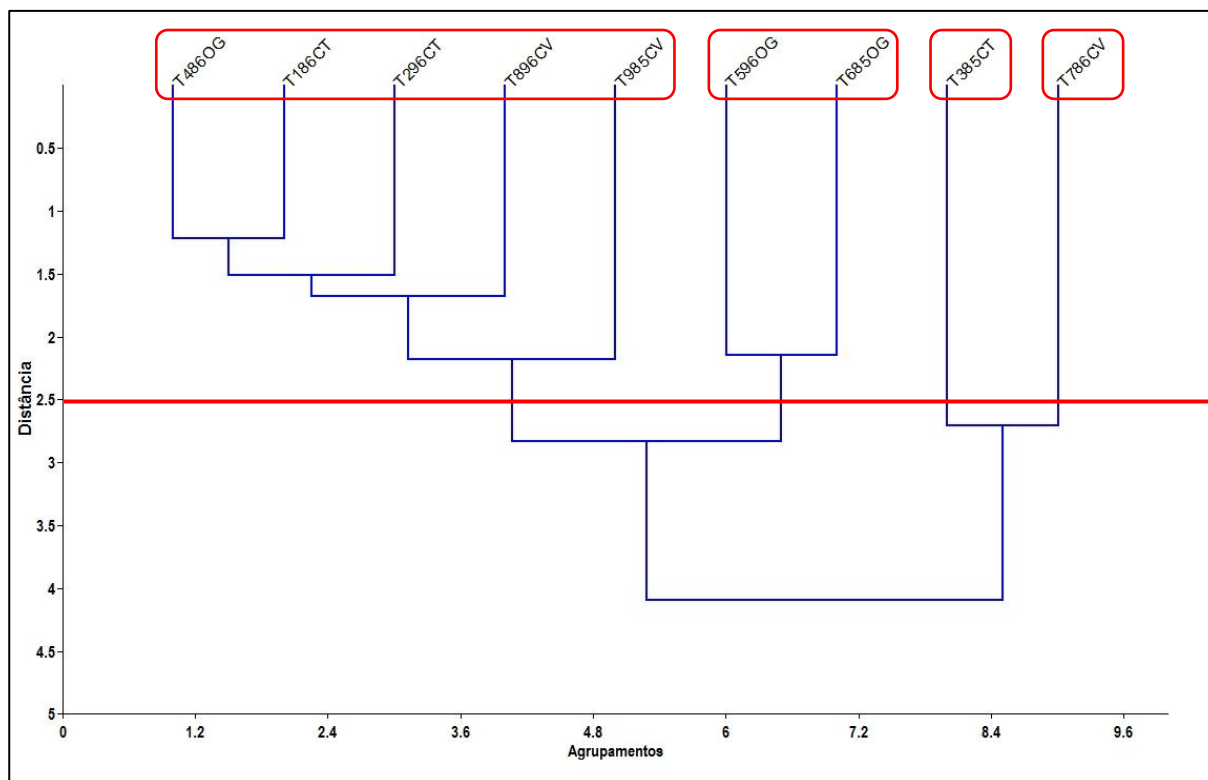


Figura 23. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável enxofre.

Os tratamentos convencionais obtiveram os maiores valores de S, já os tratamentos orgânicos e controle obtiveram valores similares. Os resultados obtidos para os tratamentos com insumos minerais são esperados, uma vez que muitos fertilizantes minerais possuem formas de S em sua composição. Todos os tratamentos obtiveram valores considerados altos, conforme parâmetros de referência dos teores de S no solo, que apontam teores > 10 como altos.

Alleoni e Beauclair (1995) afirmam que o incremento de matéria orgânica formam agregados capazes de aumentar a capacidade de absorção do solo, por conseguinte aumentando a capacidade de troca catiônica, aumentando também teores de nitrogênio, fósforo e enxofre.

4.2.2 Boro (B)

O resumo dos dados estatísticos obtidos para variável boro estão contidos na Tabela 22, com coeficiente de variação 4,37 e valor F 1,38 não significativo. O teste de Tukey a 10% não encontrou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 22. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável boro (B), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1,38	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1,12	T4 86 OG	1,1755	a
Desvio-padrão	0,05	T5 96 OG	1,1578	a
DMS (10%)	0,11	T6 85 OG	1,1279	a
CV (%)	4,37	T8 96 CV	1,1118	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T9 85 CV	1,1101	a
DMS: diferença mínima significativa		T7 86 CV	1,1100	a
CV: coeficiente de variação.		T3 85 CT	1,1100	a
		T1 86 CT	1,0943	a
		T2 96 CT	1,0883	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 0,1 na escala do dendograma (Figura 24) e coeficiente de correlação cofenética 0,938 (forte) foram observados três agrupamentos separando os tratamentos orgânicos T596OG e T486OG dos demais, também agrupando os tratamentos convencionais e controle nas menores distâncias.

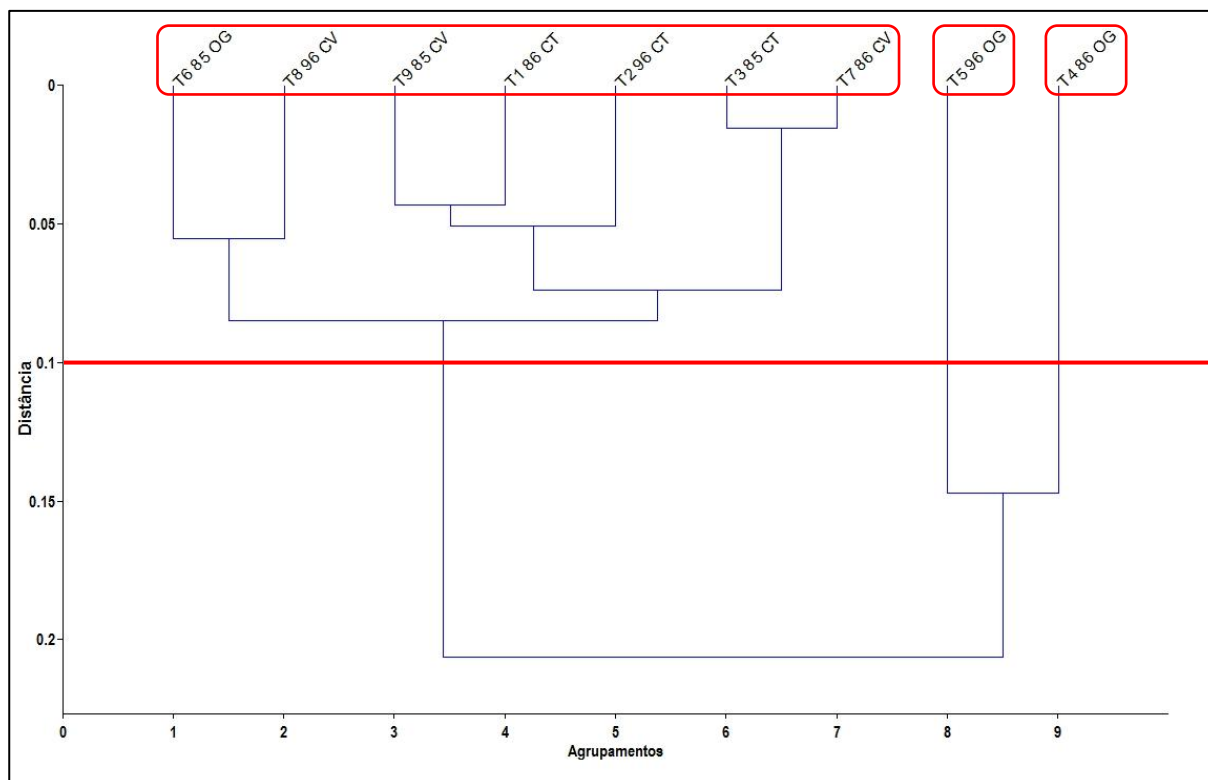


Figura 24. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável boro.

Embora os valores sejam muito próximos entre si, os tratamentos orgânicos apresentaram os maiores teores de B, seguidos pelos tratamentos convencionais com valores pouco inferiores e, por fim, os tratamentos controle. Assim, considerando os conceitos de Raij et al. (2001), onde os limites de interpretação dos teores de boro no solo são considerados 0 a 0,2 (baixo), 0,21 a 0,60 (médio) e > 0,60 (alto), pode-se afirmar que os tratamentos orgânicos estão numa faixa de valores médios (Tabela 20). O mesmo não foi verificado por Ourives et al. (2010) em relação aos teores de boro no solo, 60 dias após aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais, onde a adubação orgânica com Bokashi apresentou resultados inferiores quando comparados com tratamentos convencionais, tendo estes apresentado os melhores resultados.

4.2.3 Cobre (Cu)

A variável Cu não apresentou diferenças, conforme o resumo dos dados estatísticos obtidos (Tabela 23), com coeficiente de variação de 4% e valor F 0,42 não significativo. Do mesmo modo, o teste de Tukey (10%) confirma a não detecção de diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 23. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável cobre (Cu), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0,42	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1,78	T1 86 CT	1,8225	a
Desvio-padrão	0,07	T3 85 CT	1,8150	a
DMS (10%)	0,15	T2 96 CT	1,7889	a
CV (%)	4,00	T5 96 OG	1,7863	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T4 86 OG	1,7834	a
DMS: diferença mínima significativa		T8 96 CV	1,7727	a
CV: coeficiente de variação.		T6 85 OG	1,7624	a
		T9 85 CV	1,7602	a
		T7 86 CV	1,7594	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 0,1 na escala do dendograma (Figura 25) e coeficiente de correlação cofenética 0,738 (forte) foram observados sete agrupamentos que separam os tratamentos controle T186CT e T385CT dos demais.

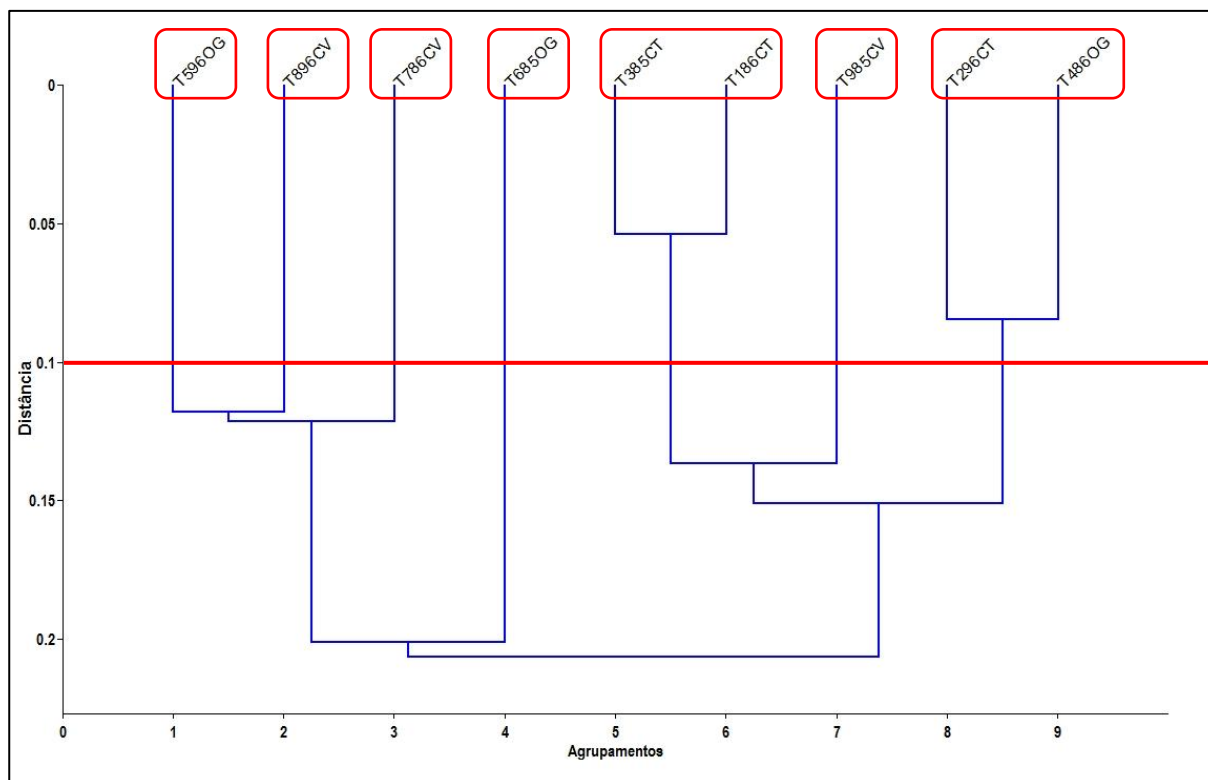


Figura 25. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável cobre.

Ainda considerando os conceitos de Raij et al. (2001), onde os limites de interpretação dos teores de cobre no solo são considerados 0 a 0,2 (baixo), 0,3 a 0,8 (médio) e > 0,8 (alto), pode-se afirmar que todos os tratamentos estão numa faixa de valores altos. Embora os valores médios originais (Tabela 20) sejam próximos entre si, os tratamentos controle obtiveram os níveis mais elevados, seguidos dos tratamentos orgânicos e convencionais, que apresentaram ligeira redução dos teores de cobre.

Dessa forma, dentro de certos limites, pode-se afirmar que essa ligeira redução seja vantajosa, pois para Felix (2005) a concentração total de cobre nos solos, como um indicador útil da deficiência ou da contaminação do solo, não fornece informações conclusivas sobre seu impacto ambiental. A disponibilidade de cobre à biota, seja como nutriente ou como um elemento tóxico, e sua mobilidade, são os fatores mais importantes a serem considerados ao avaliar efeitos no ambiente do solo. Entretanto, essas observações devem levar em conta os efeitos referentes à mobilidade, biodisponibilidade e toxicidade dos metais nos solos que dependem das formas que o metal ocorre nos mesmos (KARCZEWSKA, 1996; MCLAUGHLIN et al., 2000).

4.2.4 Ferro (Fe)

O resumo dos dados estatísticos obtidos para variável ferro está contido na Tabela 24, onde pode ser visto o coeficiente de variação de 11,95 obtido e valor de F 0,77. O teste de Tukey (10%) não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 24. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável ferro (Fe), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0,77	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	6,05	T1 86 CT	6,5115	a
Desvio-padrão	0,72	T3 85 CT	6,4828	a
DMS (10%)	1,57	T2 96 CT	6,1488	a
CV (%)	11,95	T6 85 OG	6,1042	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	6,0431	a
DMS: diferença mínima significativa		T4 86 OG	5,9868	a
CV: coeficiente de variação.		T8 96 CV	5,8225	a
		T9 85 CV	5,8187	a
		T7 86 CV	5,5218	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 1,5 na escala do dendograma (Figura 26) e coeficiente de correlação cofenética 0,856 (forte) foram observados seis agrupamentos, isolando tratamentos controle e convencionais.

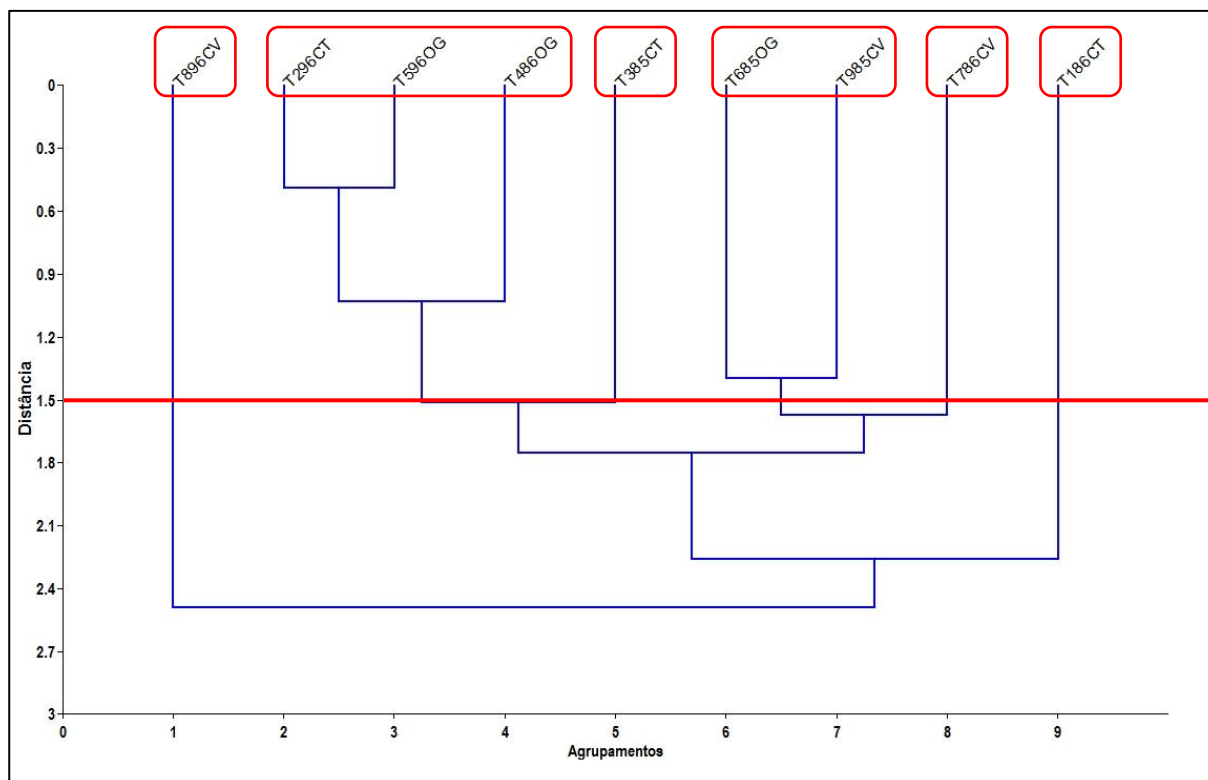


Figura 26. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável ferro.

Os resultados obtidos mostram que os tratamentos orgânicos e convencionais promoveram uma redução dos teores de ferro no solo, frente aos tratamentos controle que obtiveram as maiores concentrações. Para Raij et al. (2001), os limites de interpretação dos teores de ferro no solo são considerados 0 a 4,0 (baixo), 5,0 a 12,0 (médio) e > 12,0 (alto). Pode-se afirmar assim que todos os tratamentos estão numa faixa de valores altos (Tabela 20). Assim sendo, a redução observada é desejável pois o ferro, embora um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, quando em excesso causa excesso oxidativo levando a uma redução do crescimento e produtividade das plantas (JUCOSKI, 2011).

4.2.5 Manganês (Mn)

Não foram observadas diferenças estatísticas entre tratamentos para o micronutriente manganês, conforme apresentado na Tabela 25. O coeficiente de variação CV foi de 7,66% e valor F 0,78 não significativo. O teste de Tukey (10%) não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, concordando com a análise de variância.

Tabela 25. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável manganês (Mn), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0,78	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	6,31	T2 96 CT	6,6266	a
Desvio-padrão	0,48	T9 85 CV	6,5435	a
DMS (10%)	1,05	T4 86 OG	6,5137	a
CV (%)	7,66	T8 96 CV	6,3513	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T1 86 CT	6,3201	a
DMS: diferença mínima significativa		T3 85 CT	6,1383	a
CV: coeficiente de variação.		T5 96 OG	6,1137	a
		T7 86 CV	6,0916	a
		T6 85 OG	6,0869	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 1,0 na escala do dendograma (Figura 27) e coeficiente de correlação cofenética 0,865 (forte) foram observados quatro agrupamentos.

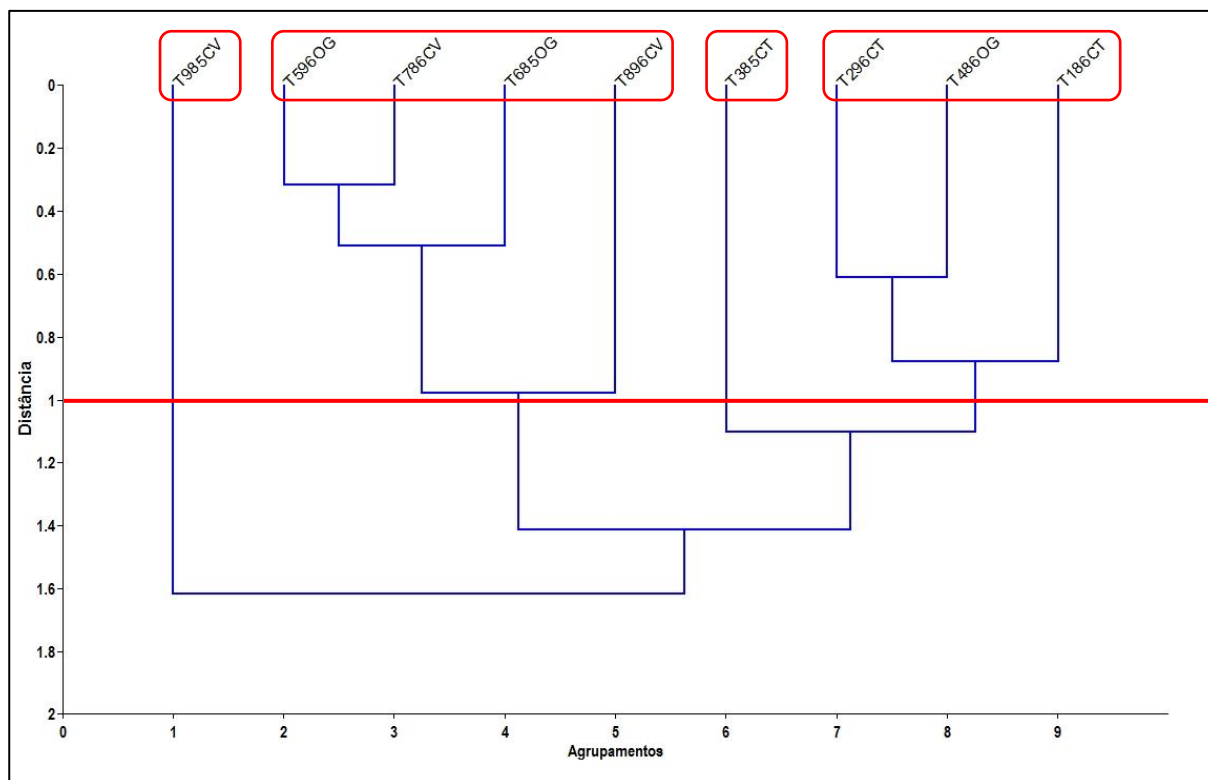


Figura 27. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável manganês.

Os resultados mostram que nos tratamentos orgânicos e convencionais foram observados os menores teores de manganês no solo, frente aos tratamentos controle que apresentaram as maiores concentrações. Para Raij (1991), os limites de interpretação dos teores de manganês no solo são considerados 0 a 1,2 (baixo), 1,3 a 5,0 (médio) e $> 5,0$ (alto). Conforme os dados originais (Tabela 20) as concentrações de Mn são bastante altas independente do tratamento. Espera-se, portanto, nessas condições, não se observar possibilidade da ocorrência de deficiência desse elemento nas plantas, mas assim mesmo os resultados parecem concordar com Abreu Junior, Muraoka e Oliveira (2002), Wilson, Duarte-Davison e Jones (1996), que relacionam o aumento da calagem e elevação do pH com a redução de Mn, como observado nos dados obtidos neste experimento para as variáveis pH e Ca.

4.2.6 Zinco (Zn)

Assim como os demais micronutrientes, a variável zinco não apresentou diferenças entre tratamentos, conforme resumo dos dados estatísticos obtidos contidos na Tabela 26. O coeficiente de variação foi de 13,54% e teste F com valor de 1,56 não significativo. O teste de Tukey (10%) não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 26. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável zinco (Zn), com transformação $\sqrt{X}+1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1,56	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1,53	T4 86 OG	1,7382	a
Desvio-padrão	0,21	T6 85 OG	1,7336	a
DMS (10%)	0,45	T8 96 CV	1,6072	a
CV (%)	13,54	T9 85 CV	1,5003	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	1,4794	a
DMS: diferença mínima significativa		T3 85 CT	1,4586	a
CV: coeficiente de variação.		T7 86 CV	1,4510	a
		T2 96 CT	1,4353	a
		T1 86 CT	1,3883	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” a 50%, equivalendo a 0,5 na escala do dendograma (Figura 28) e coeficiente de correlação cofenética 0,922 foram observados apenas dois agrupamentos que separam os tratamentos orgânicos T486OG e T685OG dos demais.

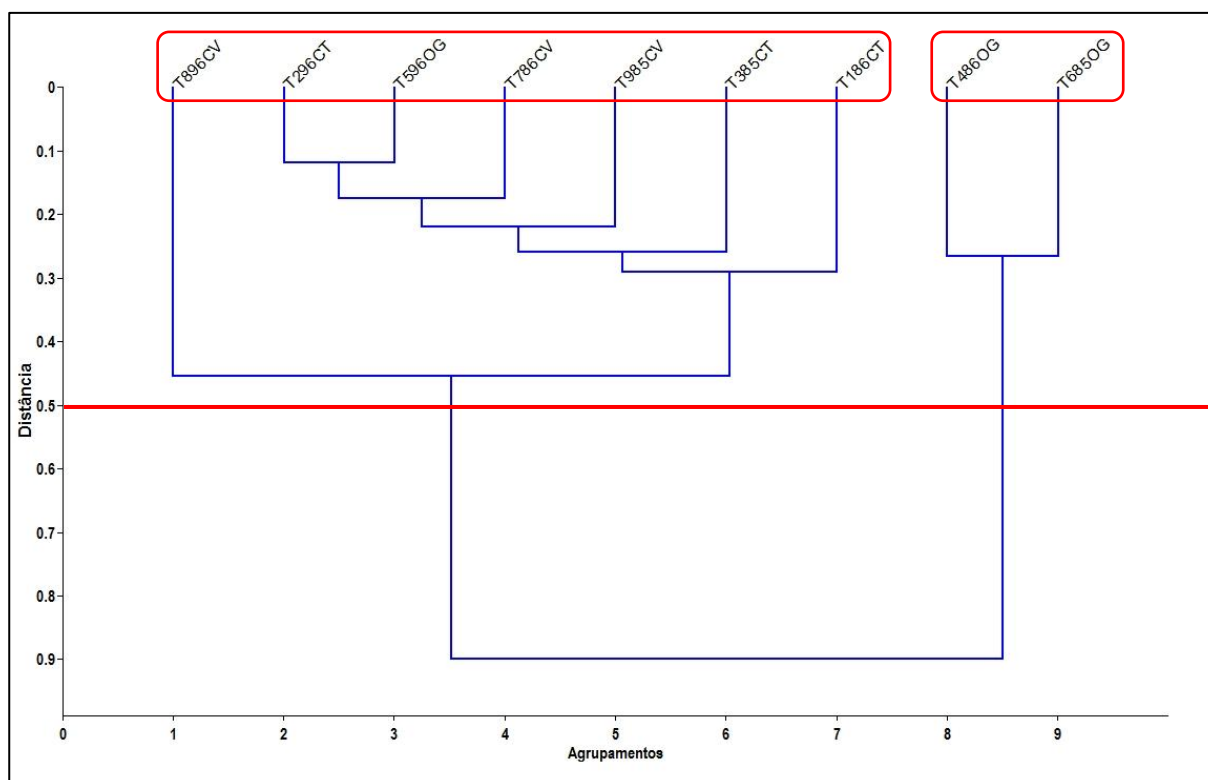


Figura 28. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável zinco.

Os resultados mostram que nos tratamentos orgânicos e convencionais foram observados os maiores teores de zinco no solo, frente aos tratamentos controle, com menores concentrações. Mesmo observando valores similares entre todos os tratamentos, conforme Raij et al. (2001), os limites de interpretação dos teores de zinco no solo são considerados 0 a 0,5 (baixo), 0,6 a 1,2 (médio) e > 1,2 (alto). Conforme os dados originais (Tabela 20) os teores de Zn no solo foram médios nos tratamentos controle e altos nos tratamentos orgânicos e convencionais.

Nesse contexto, espera-se não ser observado sintomas de deficiência deste micronutriente como redução da altura das plantas, internódios, folhas e da produtividade (SANTOS, CAMARGO, 2009; MUNER et al., 2011). Além disso, conforme Alleoni e Beauclair (1995) a decomposição e mineralização da matéria orgânica promove, entre outras ações, a formação de quelatos solúveis de zinco, disponibilizando-o às raízes, e favorecendo a atividade microbológica no solo.

4.3 Atributos microbiológicos

4.3.1 Carbono da biomassa microbiana (CBM)

Para a variável carbono da biomassa microbiana (CBM), não se observou diferenças estatísticas significativas entre tratamentos, ao nível de 10% de probabilidade. A Tabela 27 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos para a referida variável. O coeficiente de variação obtido foi de 4,41% (baixo) e valor F de 0,52 não significativo. O teste de Tukey também não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 27. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável carbono da biomassa microbiana (CBM), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0.52	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1.23	T1 86 CT	1.2712	a
Desvio-padrão	0.05	T4 86 OG	1.2464	a
DMS (10%)	0.12	T9 85 CV	1.2277	a
CV (%)	4.41	T8 96 CV	1.2235	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T5 96 OG	1.2233	a
DMS: diferença mínima significativa		T6 85 OG	1.2219	a
CV: coeficiente de variação.		T7 86 CV	1.2193	a
		T2 96 CT	1.2160	a
		T3 85 CT	1.2051	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com “Linha de Fenon” equivalendo a 0,1 na escala do dendograma (Figura 29) e coeficiente de correlação cofenética 0,743 (forte) são formados seis agrupamentos, que embora muito similares pois possuem distância mínima, agrupou tratamentos orgânicos e tratamentos convencionais, sem similaridades entre tratamentos orgânicos e controle.

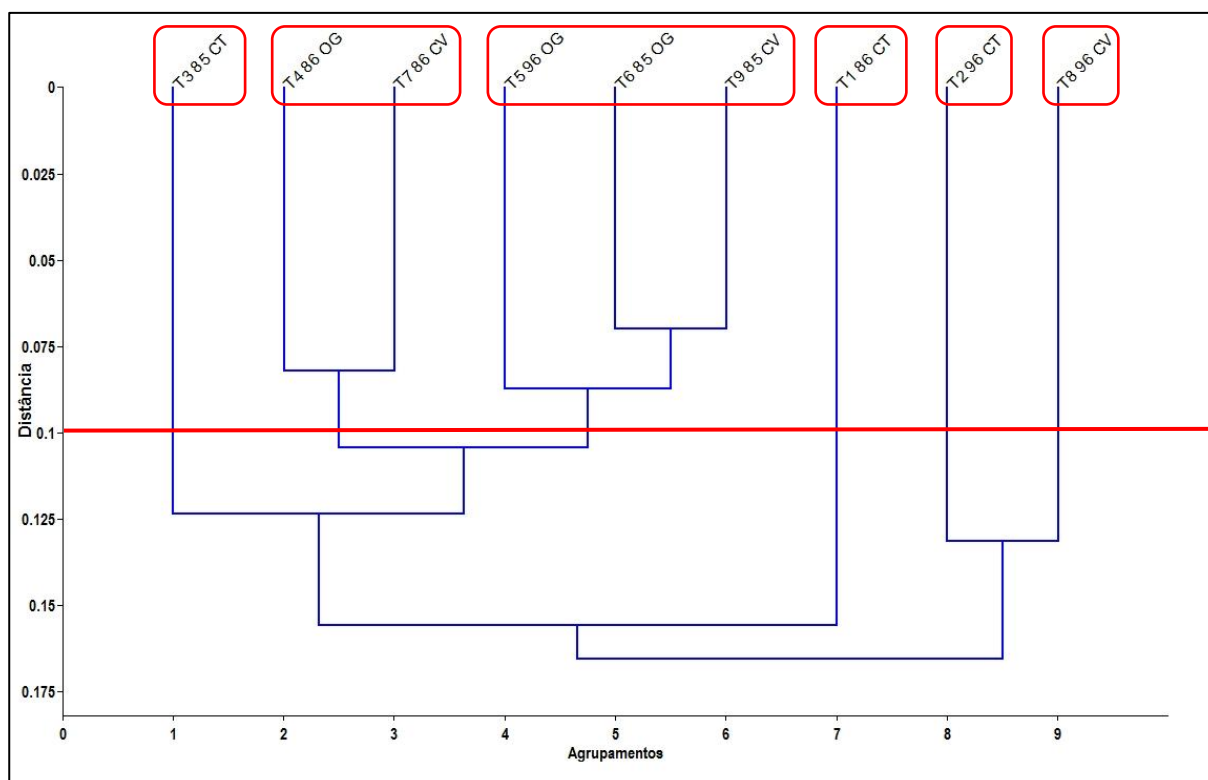


Figura 29. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável CBM.

Os valores médios de CBM variaram de 0,458 mg C/g solo a 0,618 mg C/g solo entre os tratamentos (Figura 30), em D'Andréa et al. (2002) foi observado uma faixa de valores entre 0,207 mg C/g solo a 1,31 mg C/g solo sob diferentes manejos em área de cerrado, portanto os valores obtidos para este experimento estão dentro de uma faixa de valores aceitáveis. Heluany (2014) detectou diminuição do estoque de CBM em diferentes usos da terra, comparando áreas de mata nativa, pastagens e cana-de-açúcar, sob diferentes latitudes, observando aumento do CBM nas áreas de cana.

Ainda de acordo com D'Andréa et al. (2002), sistemas orgânicos recém implantados geralmente não apresentam alterações significativas em relação ao acúmulo de CBM do solo, concordando com os resultados obtidos por Zorel (2011), que ao comparar insumos orgânicos e minerais em experimento com cana-de-açúcar não encontrou alterações estatísticas significativas entre tratamentos. Entretanto vale observar que Zorel (2011) obteve os maiores valores de CBM justamente na fase de desenvolvimento dos colmos de cana-de-açúcar, mesmo período da amostragem de solo deste experimento. Vasconcellos et al. (1999) afirma que quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior será a quantidade de

carbono imobilizada pela biomassa microbiana, lembrando que a variável MO não apresentou diferenças estatísticas entre tratamentos, fato que ajuda a compreender o mesmo resultado para CBM. Fatores como temperatura, umidade e fase de desenvolvimento da cultura podem influenciar a microbiota do solo, refletindo nos valores de CBM (BALOTA et al., 1998; D'ANDRÉA et al., 2002). Lembrando que o período de amostragem do experimento considerou estes aspectos ambientais.

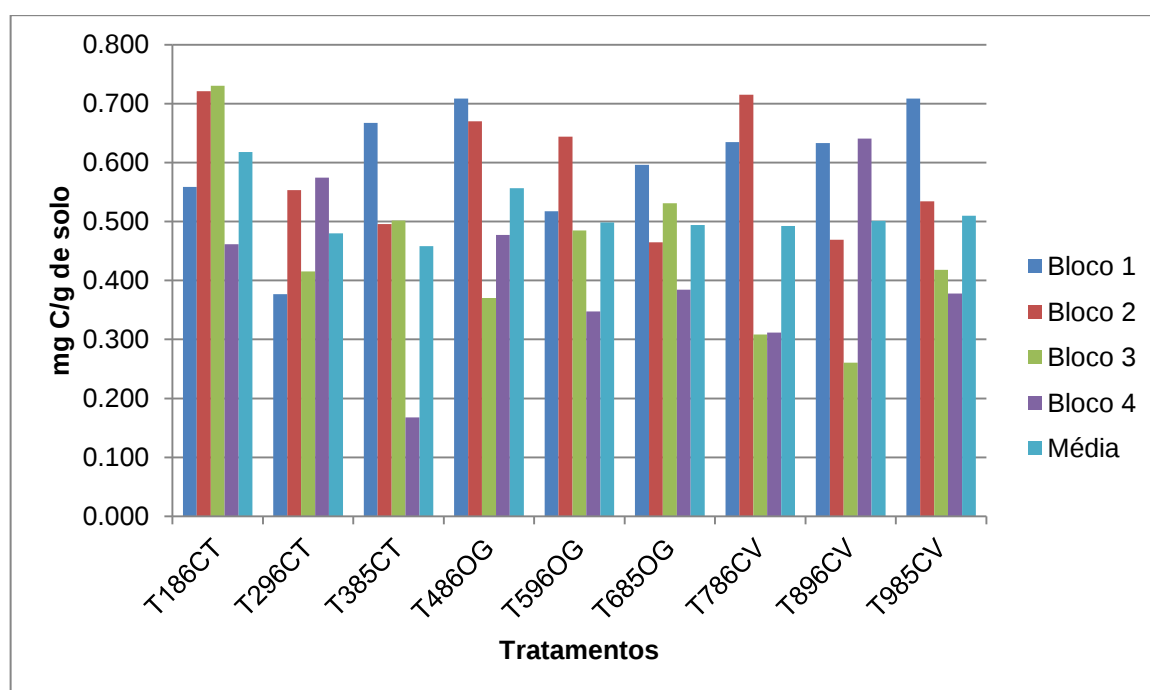


Figura 30. Valores originais para CBM em mg C/g solo.

4.3.2 Respiração basal do solo (RBS)

A Tabela 28 contém o resumo dos dados estatísticos obtidos para variável RBS, com coeficiente de variação 23,88% e valor F de 1,09 não significativo, o que é comprovado pelo teste de Tukey (10%), não detectando diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 28. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável respiração basal do solo (RBS), com transformação $\sqrt{X}+1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1.09	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1.46	T8 96 CV	1.8255	a
Desvio-padrão	0.35	T9 85 CV	1.6383	a
DMS (10%)	0.75	T1 86 CT	1.5099	a
CV (%)	23.88	T4 86 OG	1.5088	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T7 86 CV	1.4064	a
DMS: diferença mínima significativa		T5 96 OG	1.3483	a
CV: coeficiente de variação.		T2 96 CT	1.3255	a
		T6 85 OG	1.3059	a
		T3 85 CT	1.2646	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” equivalendo a 1,0 na escala do dendograma (Figura 31) e coeficiente de correlação cofenética 0,951 são formados dois agrupamentos, que separa o tratamento T896CV dos demais tratamentos.

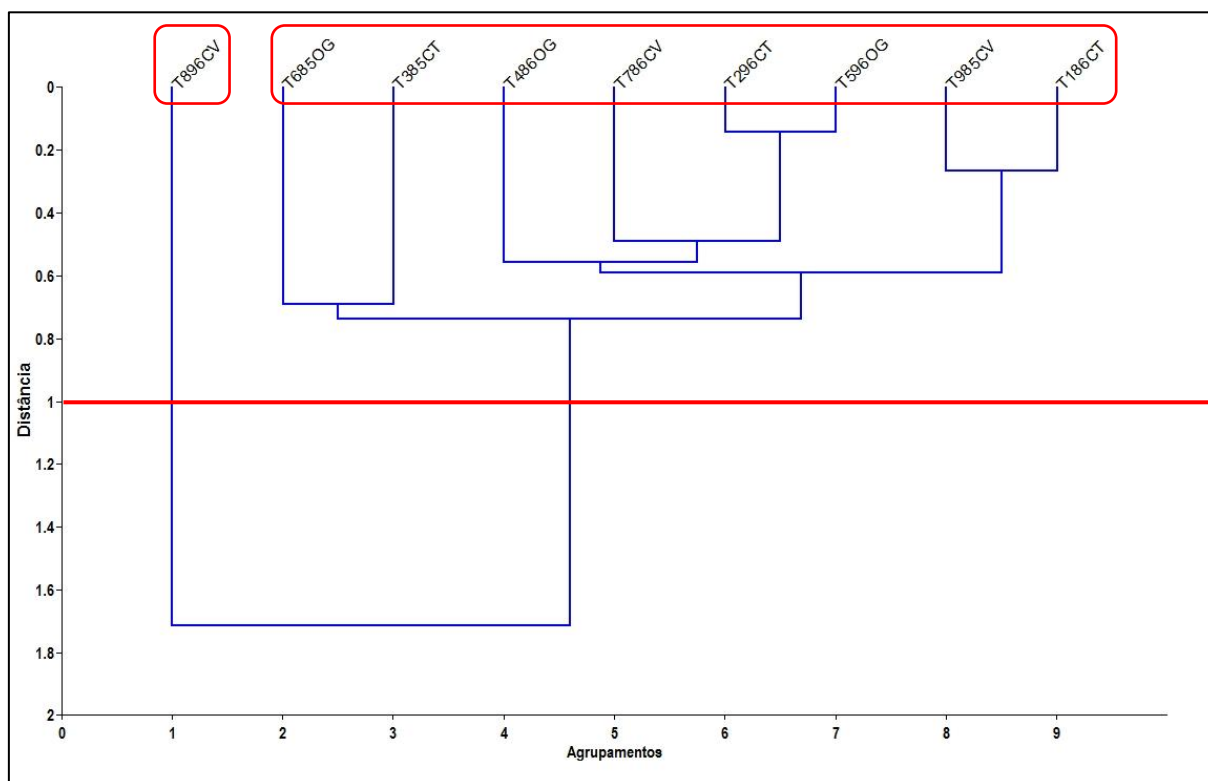


Figura 31. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável RBS.

Os valores médios de RBS variaram de 0,655 mg CO₂ kg/h a 2,853 mg CO₂ kg/h entre os tratamentos estudados (Figura 32). Com base nos resultados verificou-se que maiores níveis de CO₂ liberado do solo, ocorreram nos tratamentos com insumos minerais, seguidos pelos tratamentos com composto orgânico. O resultado observado, pode estar relacionado à incorporação do composto orgânico, o qual provavelmente estimulou a atividade microbiana, liberando CO₂, visto que a amostragem de solo para análises foi realizada 120 dias após a implantação do experimento. Os resultados são semelhantes aos obtidos por Zorel (2011), que ao avaliar a RBS por um período de 16 meses, verificou elevação das taxas de respiração do solo na fase de perfilhamento/crescimento da cana-de-açúcar.

Esses dados estão de acordo com Balota et al. (1998) e Santos e Camargo (1999), que afirmam ser a emissão de CO₂ bem como o CBM influenciados por variações de temperatura e umidade do solo, e as amostragens do solo da área experimental foram realizadas no mês de agosto, período onde ocorreu pouca precipitação. Concorda também com Siqueira et al. (1994), que afirma ser a taxa de CO₂ liberado diretamente relacionada à mineralização e decomposição da matéria orgânica, por conseguinte, provavelmente a fase de amostragem do solo coincidiu

com o início da atividade metabólica dos microrganismos no solo. Por outro lado, conforme Carvalho et al. (2008), deve ser ressaltado que aumentos excessivos na taxa de respiração do solo podem significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, a longo prazo, perda de C orgânico do solo para a atmosfera.

Com base nos dados observados na Tabela 28, ilustrados na Figura 32 e considerando ser este parâmetro, um dos mais antigos para quantificação da atividade microbiana do solo, representa a atividade metabólica da massa de microrganismos do solo, conforme Doran e Parkin (1994) e Alef e Nannipieri (1995) é de se esperar que esse parâmetro provavelmente sofra elevações nos meses mais quentes e de maior precipitação, como observado por Zorel (2011). Além disso, existe a expectativa de que, com o passar do tempo, conforme Islam e Weil (2000), a respiração basal diminua em agroecossistemas a medida que estes tornam-se mais estáveis.

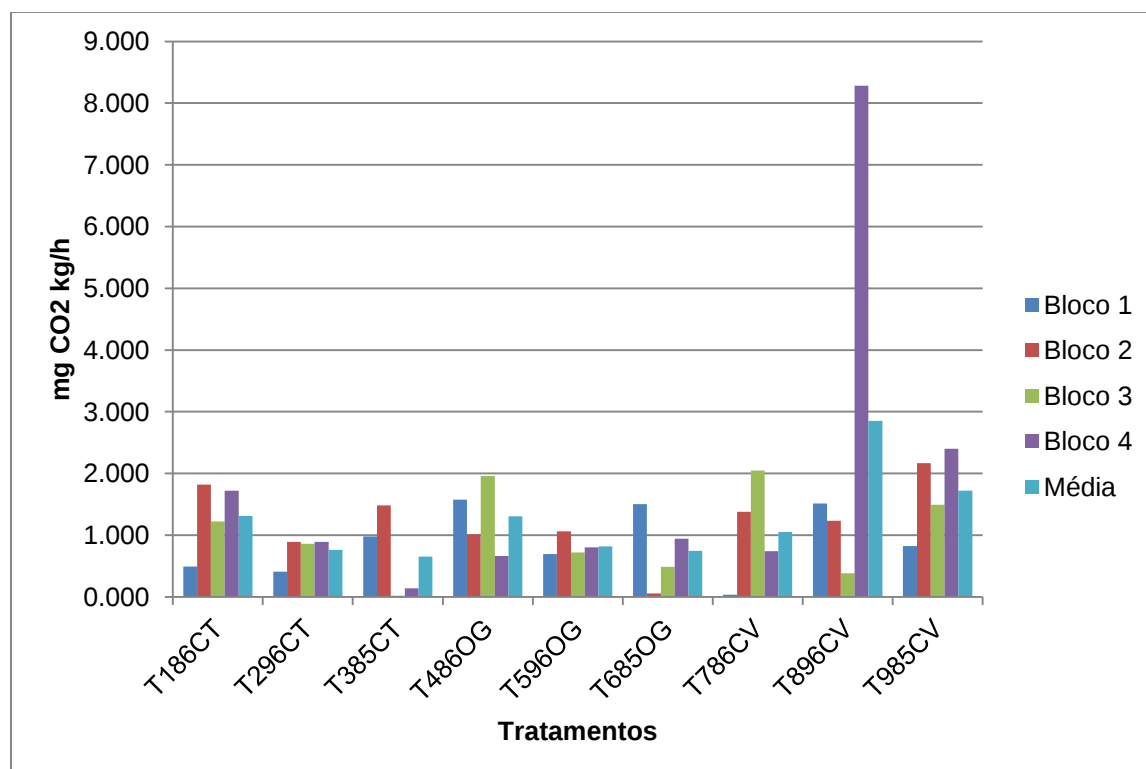


Figura 32. Valores originais para RBS em mg CO₂ kg/hora.

4.3.3 Quociente metabólico (qCO_2)

Na Tabela 29 estão contidos o resumo dos resultados estatísticos da variável qCO_2 . O coeficiente de variação CV foi de 28% com valor de F igual a 1,24 não significativo e concordando com o teste de Tukey (10%) que também não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 29. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável quociente metabólico (qCO_2), com transformação $\sqrt{X} + 1$

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1.24	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	1.79	T8 96 CV	2.2620	a
Desvio-padrão	0.50	T9 85 CV	2.1727	a
DMS (10%)	1.09	T4 86 OG	1.8591	a
CV (%)	28.10	T7 86 CV	1.8349	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T1 86 CT	1.7640	a
DMS: diferença mínima significativa		T5 96 OG	1.6393	a
CV: coeficiente de variação.		T6 85 OG	1.5448	a
		T2 96 CT	1.5185	a
		T3 85 CT	1.4845	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” equivalendo a 1,5 na escala do dendograma (Figura 33) e coeficiente de correlação cofenética 0,844 são formados dois agrupamentos, que também separa o tratamento T896CV dos demais tratamentos, como observado na RBS.

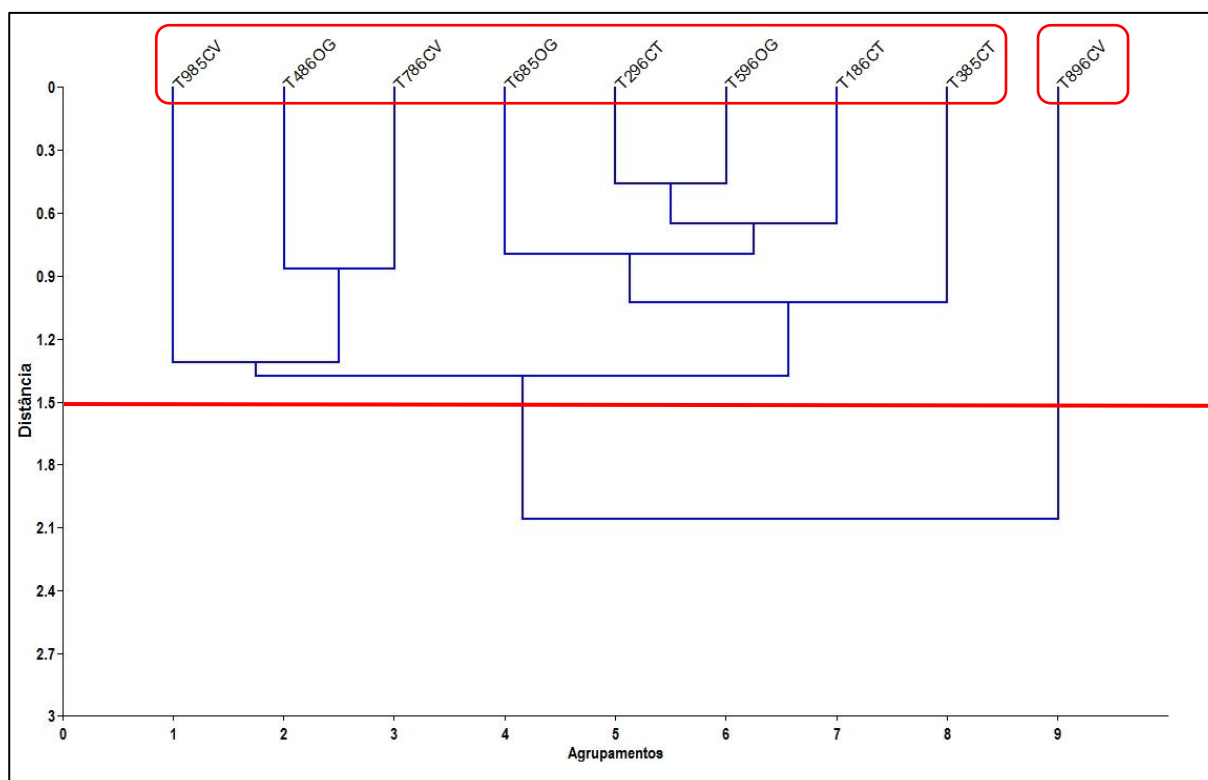


Figura 33. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana para $q\text{CO}_2$.

Embora não apresentando diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, os maiores valores de $q\text{CO}_2$ foram observados nos tratamentos convencionais T896CV e T985CV, fato também constatado por Zorel (2011) e D'Andréa et al. (2002), que também não detectaram diferenças estatísticas significativas nos valores de $q\text{CO}_2$ ao comparar três áreas distintas, cerrado nativo, pastagem e sistema agrícola convencional com plantio direto. Os valores elevados de $q\text{CO}_2$ nos tratamentos convencionais pode ser justificado por Six et al. (2000) e Silva et al. (2007a), pois os mesmos afirmam que, a matéria orgânica torna-se mais suscetível ao ataque microbiano em sistemas convencionais, aumentando assim a taxa de mineralização e liberação de CO_2 para a atmosfera, devido ao rompimento de macroagregados e microagregados.

De acordo Islam e Weil (2000) a melhoria da qualidade do solo promove diminuição dos valores do quociente metabólico, pois o $q\text{CO}_2$ é negativamente correlacionado com a qualidade do solo. E neste sentido, o curto período da fase implantação/amostragem do experimento pode ter refletido nos valores de $q\text{CO}_2$ observados (Figura 34), uma vez que certa estabilidade do ambiente como um todo passa a existir a longo prazo. Portanto, por se tratar de um ambiente agrícola recém

implantado, possivelmente a comunidade microbiana local ainda estava em fase de estruturação.

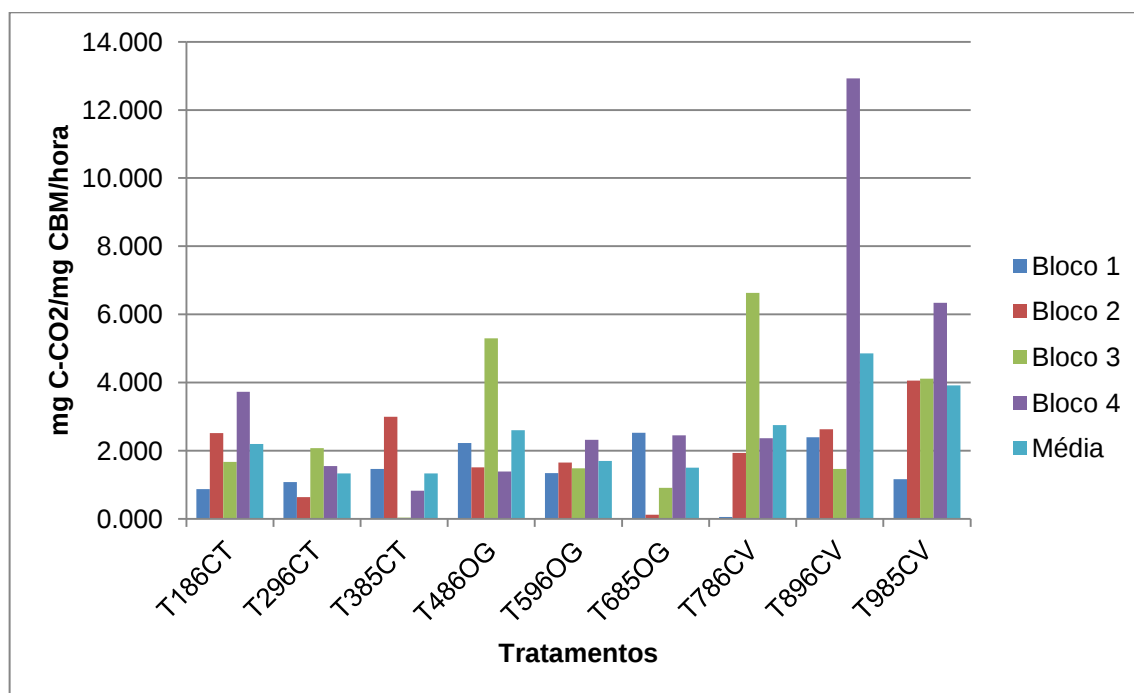


Figura 34. Valores originais para $q\text{CO}_2$ em mg C- CO_2 CBM/hora.

Considerando ainda os valores originais dessa variável, apresentados na Figura 32, observa-se que os resultados obtidos foram ligeiramente elevados, discordando parcialmente com os conceitos propostos por Gama-Rodrigues (1999) que considera uma menor taxa de CO_2 liberado pela respiração um indicativo de uma maior incorporação de carbono pelos microrganismos.

4.3.4 Número mais provável de fungos e bactérias do solo (NMP)

4.3.4.1 NMP fungos

Na Tabela 30 estão contidos o resumo dos resultados estatísticos da variável NMP de fungos. O coeficiente de variação CV foi de 12,03% com valor de F igual a 1,99 não significativo. Porém, o teste de Tukey (10%) detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 30. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável número mais provável de fungos (NMP fungos), com transformação para logaritmo na base 10

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	1.99	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	4.18	T8 96 CV	4.5823	a
Desvio-padrão	0.50	T2 96 CT	4.4876	a
DMS (10%)	1.09	T4 86 OG	4.3313	ab
CV (%)	12.03	T7 86 CV	4.3123	ab
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T1 86 CT	4.1828	ab
DMS: diferença mínima significativa		T6 85 OG	4.1490	ab
CV: coeficiente de variação.		T3 85 CT	4.1486	ab
		T9 85 CV	4.0957	ab
		T5 96 OG	3.3423	b

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” equivalendo a 1,5 na escala do dendograma (Figura 35) e coeficiente de correlação cofenética 0,920 (forte) são formados dois agrupamentos, que separa o tratamento T596OG dos demais tratamentos, concordando com os resultados do teste de Tukey.

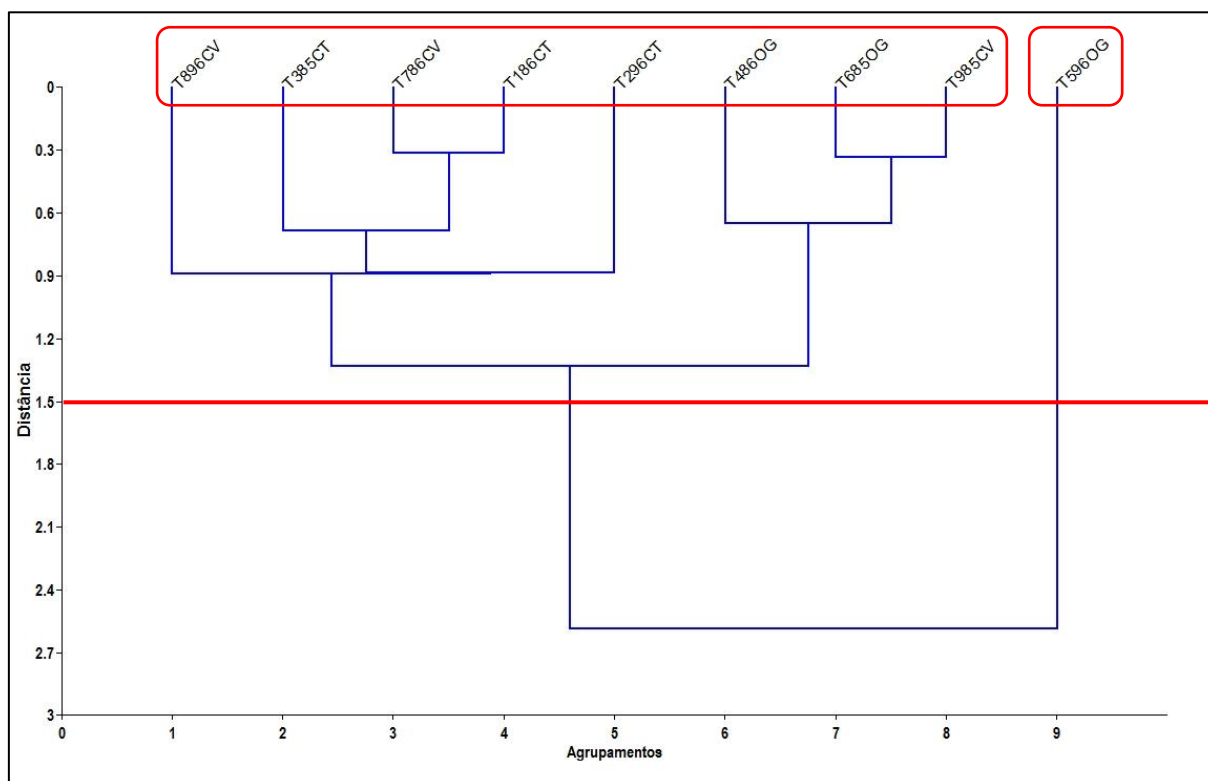


Figura 35. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável NMP fungos.

Percebe-se pelos dados obtidos que, apesar das diferenças estatísticas, ocorreu um padrão na distribuição das médias (CV, CT, OG) e que os valores mais elevados na contagem de UFC de fungos envolvem tratamentos com as variedades de cana RB867515 e RB966928 e, por fim os menores valores observados nos tratamentos com a variedade RB 855453. De modo geral, os tratamentos convencionais e controle obtiveram maiores valores de NMP de fungos.

Zorel (2011) obteve diferença estatística significativa para tratamentos orgânicos em relação aos tratamentos convencionais, nos meses iniciais de experimento (brotação), com maior número de UFC de fungos, o que se manteve no período de formação dos perfilhos e estabilizando posteriormente. Ciabotti (2013) constatou semelhanças no número de UFC de fungos em organossolos e latossolos no inverno com diminuição no verão.

Os fungos são mais resistentes a alterações de pH ambientais, sendo importantes decompositores de MO sob condições ácidas (MYERS et al., 2012), o que pode, a princípio justificar a maior quantidade do NMP de fungos em relação ao

NMP de bactérias. As observações feitas são insuficientes para afirmar se a biota fúngica sofreu influência decorrente dos tratamentos e insumos utilizados, pois indicam que as condições climáticas (inverno) e possíveis interações solo planta na rizosfera em formação, das diferentes variedades utilizadas, surtiram maior influência na população de fungos (Figura 36), ao menos no período de amostragem considerado para o experimento. Essa observação pode ser coerente quando se consideram os tratamentos com as variedades RB867515 e RB966928, serem variedades que apresentam velocidade de crescimento rápido e exigência ambiental média (Tabela 5), e obtiveram maiores valores de NMP de fungos, enquanto os tratamentos com a variedade RB 855453, apresentar velocidade de crescimento regular e exigência ambiental alta, apresentou os menores valores. Por exigência ambiental entende-se a aptidão de cada variedade, para seu efetivo desenvolvimento, em função das condições e características ambientais de cada local.

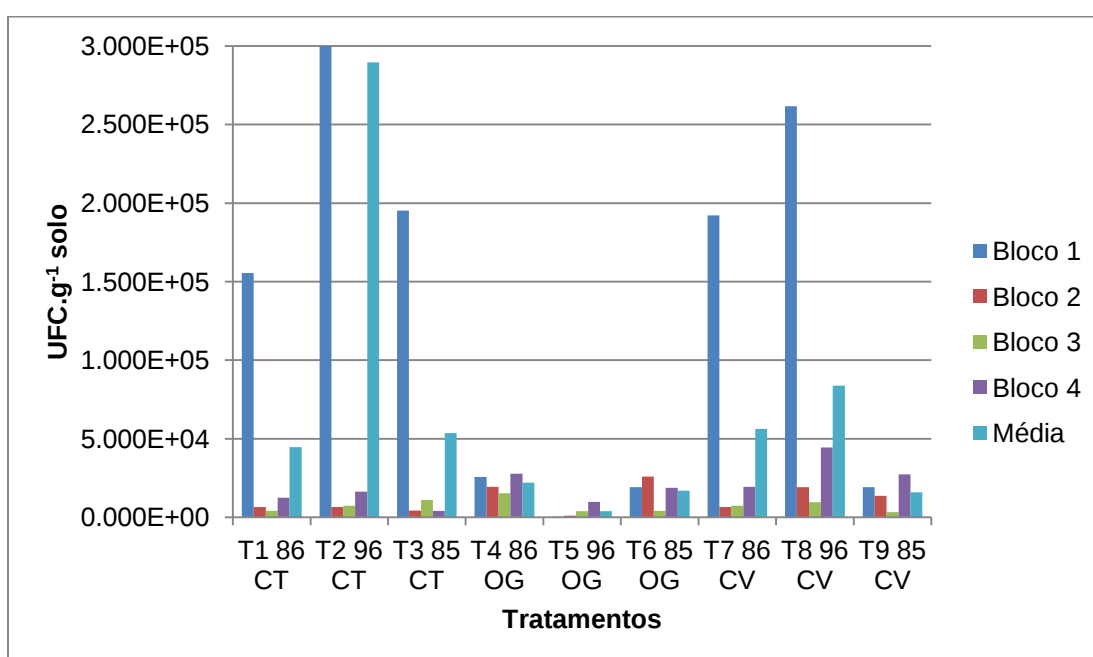


Figura 36. Valores originais para NMP de fungos, em UFC/g/solo.

4.3.4.2 NMP bactérias

Na Tabela 31 estão contidos o resumo dos resultados estatísticos da variável NMP de bactérias. O coeficiente de variação CV foi de 7,31% com valor de F igual a 1,44 não significativo e confirmado pelo teste de Tukey (10%), que não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

Tabela 31. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável número mais provável de bactérias (NMP bactérias), com transformação para logaritmo na base 10

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos		Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	5.34	T8 96 CV	5.6157	a
Desvio-padrão	0.39	T2 96 CT	5.4969	a
DMS (10%)	0.85	T1 86 CT	5.4893	a
CV (%)	7.31	T3 85 CT	5.4359	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T9 85 CV	5.4135	a
DMS: diferença mínima significativa		T5 96 OG	5.4127	a
CV: coeficiente de variação.		T7 86 CV	5.2473	a
		T6 85 OG	5.1065	a
		T4 86 OG	4.8576	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” equivalendo a 1,0 na escala do dendograma (Figura 37) e coeficiente de correlação cofenética 0,866 (forte) são formados quatro agrupamentos, isolando os tratamentos orgânicos T685OG, T486OG e o tratamento controle T385CT.

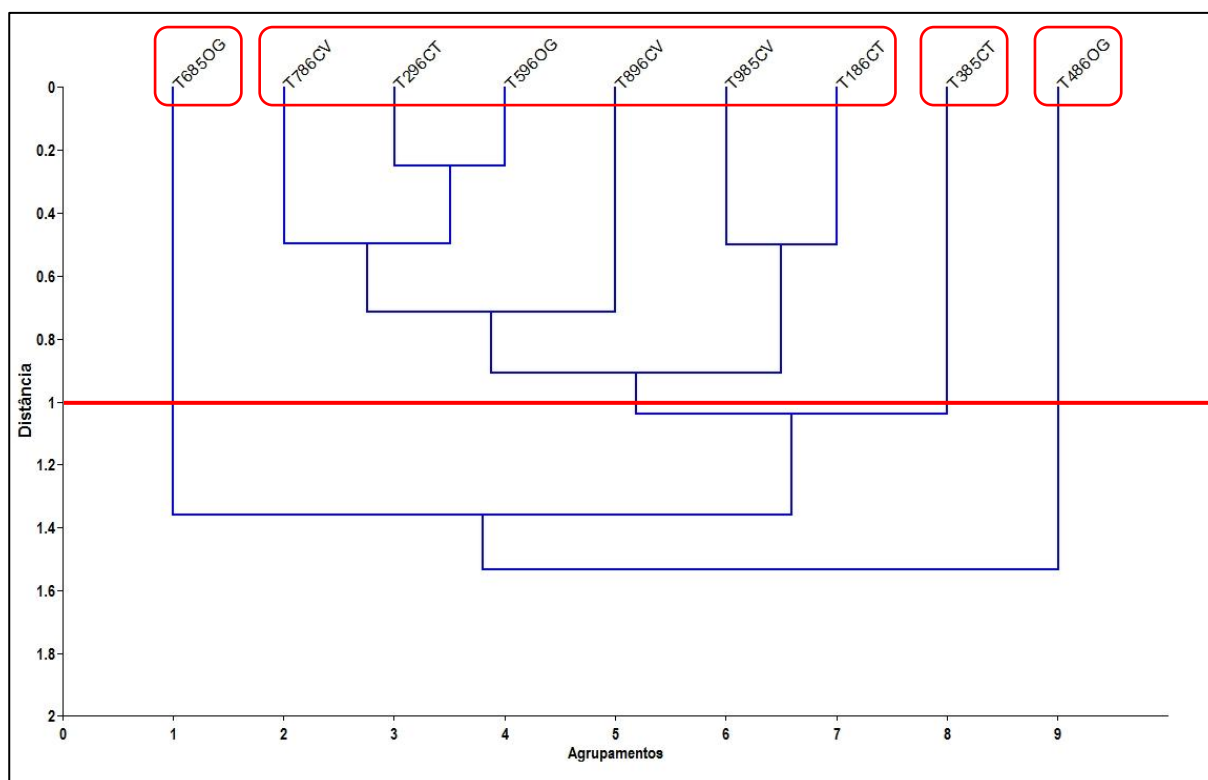


Figura 37. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável NMP bactérias.

Os valores mais elevados na contagem do NMP de bactérias envolvem tratamentos convencionais e controle (Figura 38), ficando os tratamentos orgânicos com os menores valores. Para esta variável, as variedades de cana-de-açúcar parecem não ter influído de forma direta, no entanto, a época de amostragem do solo parece influenciar nos valores desse parâmetro. Jahnel (1997) também não observou diferenças significativas entre doses de material orgânico, dentro do mesmo tipo de solo, considerando a possibilidade da existência de uma fase lag – adaptação dos microrganismos à novas condições ambientais – conforme conceitos de Siström (1973).

Entretanto, Zorel (2011) não obteve diferenças estatísticas significativas para este parâmetro entre tratamentos, mas observou diferenças no número de UFC de bactérias ao longo do tempo, onde os maiores valores foram obtidos nos meses iniciais do experimento, reduzindo com o passar do tempo. Para a referida autora, é razoável deduzir que os fatores determinantes no comportamento das populações microbianas respondem à fatores climáticos e associações solo-planta e não aos tratamentos. Além disso, valores de pH elevado contribuem para aumentar a

densidade populacional de bactérias totais, mas também fungos totais, conforme observado por Paula (2008), ao constatar elevação do pH de 4,9 para 5,6 em áreas de pastagem irrigada. Essas inconsistências entre diferentes autores sugerem que pesquisas mais direcionadas devem ser realizadas no sentido de esclarecer melhor o conjunto de variáveis que influenciam este parâmetro nas adubações com diferentes insumos, solos e culturas.

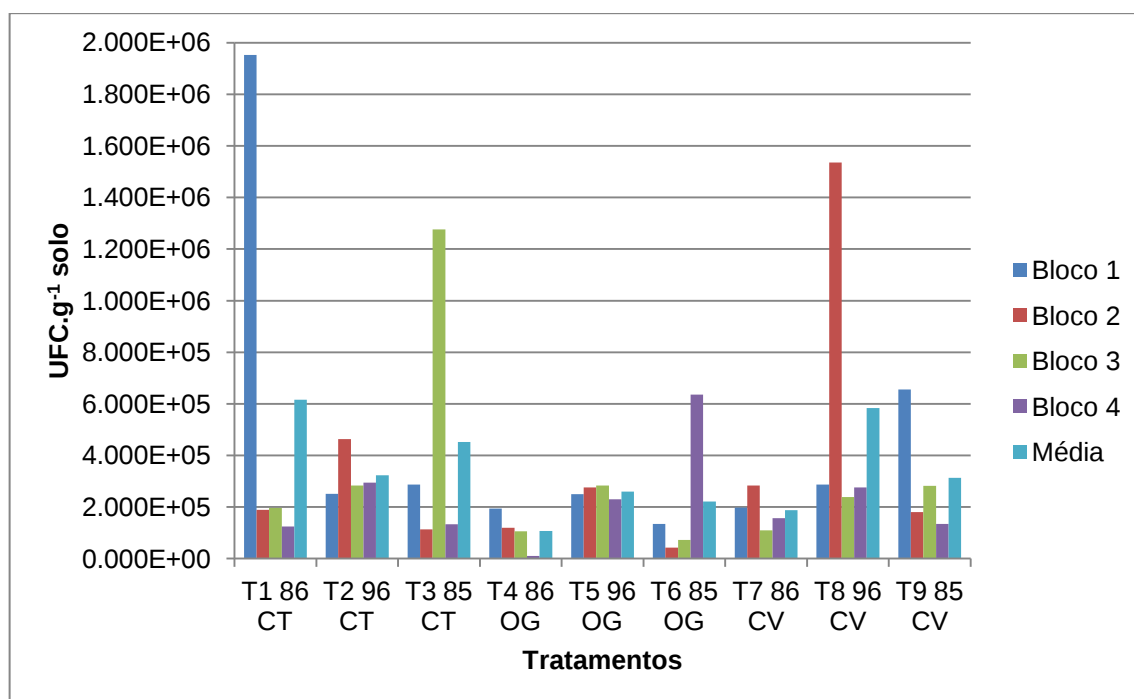


Figura 38. Valores originais para NMP de bactérias, em UFC/g/solo.

4.4 Produtividade agrícola

Na Tabela 32 estão contidos o resumo dos resultados estatísticos para produtividade agrícola da cana-de-açúcar (t/ha). O coeficiente de variação CV foi de 19,39% com valor de F igual a 0,74 não significativo e confirmado pelo teste de Tukey (10%), que não detectou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Apesar do coeficiente de variação estar aceitável para um experimento de campo, a diferença mínima significativa foi de 47,51 t/ha, o que pode ter influenciado a não detecção de diferenças estatísticas significativas entre tratamentos.

Tabela 32. Resultados da análise de variância e teste de Tukey, para a variável produtividade agrícola (t/ha)

Análise de variância		Teste de Tukey		
F tratamentos	0.74	Tratamentos	Médias	Resultados
Média geral	113.10	T7 86 CV	123.02	a
Desvio-padrão	21.93	T4 86 OG	122.61	a
DMS (10%)	47.51	T8 96 CV	121.76	a
CV (%)	19.39	T1 86 CT	118.89	a
Nível de significância:** 1%; * 5%.		T6 85 OG	112.83	a
DMS: diferença mínima significativa		T3 85 CT	110.68	a
CV: coeficiente de variação.		T5 96 OG	108.43	a
		T9 85 CV	103.76	a
		T2 96 CT	95.92	a

Letras iguais indicam que, no nível de 10% de significância, não há diferença entre as médias.

Na análise multivariada com a “Linha de Fenon” equivalendo a 40 na escala do dendograma (Figura 39) e coeficiente de correlação cofenética 0,783 (forte) são formados quatro agrupamentos, isolando o tratamento convencional T786CV, com maior produtividade. São observados agrupamentos contendo somente os tratamentos orgânicos e demais agrupamentos entre tratamentos convencionais e controle.

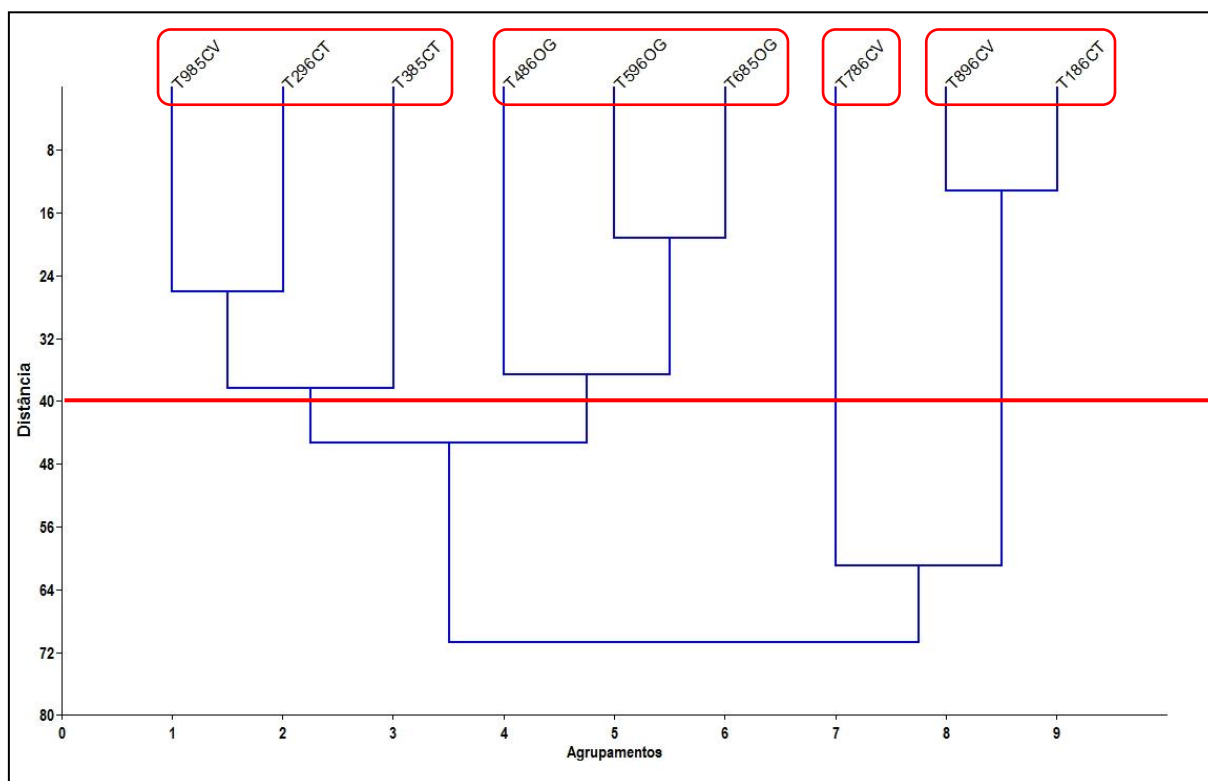


Figura 39. Dendrograma dos grupamentos em distância euclidiana da variável produtividade agrícola (t/ha).

Os resultados obtidos, tanto pelas análises estatística convencionais como pela análise multivariada, não forneceram informações que permitam correlacionar possíveis variações de causa e efeito conclusivas. Essas observações concordam com Vasquez et al. (2015) que também não obtiveram resultados conclusivos comparando fertilizantes minerais e orgânicos na produção de biomassa de cana-de-açúcar.

Entretanto, ao se observar as médias de produtividade, nota-se que os tratamentos convencionais (insumos minerais) apresentaram as maiores produtividades, seguidos pelos tratamentos orgânicos e controle. Independente do tipo de insumo utilizado, as maiores produtividades são observadas nos tratamentos que utilizaram a variedade RB867515.

4.5 Correlação entre variáveis

Na Tabela 33 estão contidos o resumo dos resultados das análises de correlação simples de Pearson entre as variáveis estudadas (químicas e microbiológicas) que apresentaram significância estatística, positiva ou negativa, nos níveis de 1% e 5% de probabilidade, totalizando 37 contrastes, correspondendo a 7,3% dentre as 506 correlações realizadas.

Tabela 33. Análise de correlação simples de Pearson entre as variáveis estudadas

Correlações	r	r ²	p	Correlações	r	r ²	P
P e K	0.863*	0.7447	0.0027	Mg e SB	0.8562*	0.7331	0.0032
P e Ca	0.8439*	0.7121	0.0042	Mg e V%	0.8847*	0.7827	0.0015
P e Zn	0.9835**	0.9673	< 0.0001	Mg e Cu	-0.9068*	0.8223	0.0007
pH e Ca	0.9256**	0.8568	0.0003	H+Al e Al	0.9175**	0.8418	0.0005
pH e Mg	0.8587*	0.7373	0.003	H+Al e SB	-0.9034*	0.8162	0.0008
pH e H+Al	-0.9696**	0.9401	< 0.0001	H+Al e V%	-0.9797**	0.9599	< 0.0001
pH e Al	-0.9298**	0.8645	0.0003	Al e SB	-0.9065**	0.8217	0.0007
pH e SB	0.9221**	0.8503	0.0004	Al e V%	-0.946**	0.8949	0.0001
pH e V%	0.9647**	0.9306	< 0.0001	Al e Cu	0.8595*	0.7387	0.003
K e Ca	0.8846*	0.7826	0.0015	SB e V%	0.9651**	0.9313	< 0.0001
K e SB	0.893*	0.7974	0.0012	SB e Zn	0.8745*	0.7647	0.002
K e Zn	0.8882*	0.7888	0.0014	CTC e qCO²	0.8556*	0.7321	0.0032
Ca e H+Al	-0.9068*	0.8223	0.0007	Cu e Fe	0.8701*	0.757	0.0023
Ca e Al	-0.8838*	0.7811	0.0016	CBM e RBS	0.9519**	0.9061	< 0.0001
Ca e SB	0.9972**	0.9943	< 0.0001	CBM e NMPF	0.9457**	0.8944	0.0001
Ca e V%	0.9631**	0.9276	< 0.0001	RBS e qCO²	0.8692*	0.7555	0.0023
Ca e Zn	0.879*	0.7726	0.0018	RBS e NMPF	0.9899**	0.9798	< 0.0001
Mg e H+Al	-0.8529*	0.7275	0.0035	qCO₂ e NMPF	0.9168**	0.8405	0.0005
Mg e Al	-0.9685**	0.938	< 0.0001				

Nível de significância:** 1%; * 5%.

As correlações positivas e/ou negativas entre os atributos químicos de certa forma são esperados, retratando a qualidade das amostragens de campo e das análises laboratoriais. A expectativa dessas análises eram estabelecer correlações estatisticamente positivas e/ou negativas entre as variáveis químicas e microbiológicas. Entretanto a única correlação observada neste sentido foi entre a CTC e o quociente metabólico (qCO_2). Esse resultado concorda com Stone et al. (2013) que, trabalhando com produtividade de feijoeiro em sistema de produção orgânica e atributos do solo, em latossolo vermelho distrófico correlacionaram, entre outros parâmetros, que quando a CTC é máxima o quociente metabólico também é máximo e quando a CTC é mínima o quociente metabólico também é mínimo.

Todos os atributos microbiológicos correlacionados entre si apresentaram, sem exceção, alta significância estatística, , sobretudo a comunidade fúngica, sugerindo serem excelentes indicadores para avaliação da qualidade do solo num curto período, concordando com Araújo e Monteiro (2007).

4.6 Curvas de regressões entre variáveis microbiológicas

Ao se analisar os dados através de ajustes de linhas ou curvas de regressões pode ser detectado o tipo de interdependência entre pares de variáveis, indicando e/ou mensurando, dentro de limites pré-definidos – no caso deste estudo, o período considerado – o comportamento dessas interações e que podem ser traduzidos por uma equação estatisticamente significativa.

Entretanto, esse recurso estatístico, exige que uma das variáveis seja reconhecidamente independente enquanto que a outra seja reconhecidamente dependente da primeira. Essa restrição não pode ser atendida neste estudo, visto que vários fatores climáticos e ambientais estão agindo sobre ambas ao mesmo tempo e influenciando seus respectivos comportamentos. Assim a obtenção de curvas para este estudo, bem como suas equações, seriam meramente ilustrativas, fornecendo no máximo, uma ideia aproximada sobre o comportamento das correlações estudadas. As curvas a serem obtidas, lembrando da dependência e independência das variáveis, seriam arbitrariamente estabelecidas para cada par de variáveis.

Conforme discutido, apesar de todas as restrições e limitações para o emprego desta metodologia estatística, poderiam ser observadas, com as devidas ressalvas que, as linhas de regressões entre os diferentes pares de atributos microbiológicos estudados, em sua totalidade resultariam em curvas logarítmicas, geométricas ou exponenciais – uma vez que, a caráter especulativo, essas curvas foram geradas, embora não apresentadas neste trabalho – apontando crescimento de ambas as variáveis num mesmo sentido, com tendência a uma estabilização em algum ponto futuro. Esse fenômeno pode indicar que atividades microbiológicas no solo sofrem maior ou menor influência de forma particularizada num mesmo ambiente e/ou interação entre si determinando maior ou menor velocidade das atividades envolvidas. Esse comportamento sugere que pesquisas mais específicas possam vir a ser realizadas em futuros trabalhos.

5. CONCLUSÕES

Com base no período estudado, da implantação até o início do crescimento da cultura de cana-de-açúcar, considerado como fase crítica da formação do canavial, concluiu-se que:

Para os parâmetros químicos, os macronutrientes Mg e Al, e os parâmetros pH e SB evidenciaram alterações no solo, em decorrência dos tratamentos estudados, sendo os tratamentos orgânicos equivalentes e/ou melhores que os tratamentos convencionais, quanto à melhorias na qualidade do solo.

Os teores de micronutrientes não apresentaram variações estatísticas significativas, portanto não evidenciando diferenças entre os diferentes insumos utilizados.

Para os parâmetros microbiológicos, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em relação ao NMP de fungos, com os tratamentos convencionais e controle apresentando os maiores valores.

Em relação as variedades de cana-de-açúcar, apesar das diferenças estatísticas, ocorreu um padrão na distribuição das médias (CV, CT, OG), onde os valores mais elevados no NMP de fungos envolvem tratamentos com as variedades de cana RB867515 e RB966928 e, os menores valores nos tratamentos com a variedade RB 855453.

A produtividade agrícola não foi influenciada pelos diferentes tratamentos e insumos utilizados, independente da variedade de cana-de-açúcar utilizada, sugerindo mesmo desempenho entre insumos orgânicos e insumos minerais quanto ao aporte de nutrientes.

Foram observadas correlações positivas e estatisticamente significativas entre a CTC e quociente metabólico (qCO_2) apontando potencial melhoria da qualidade do solo, com o emprego de insumos orgânicos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F. C. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 769-780, 2002.

ABREU JÚNIOR, C.H.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J.C. Uso agrícola de resíduos orgânicos: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciências do Solo**, Viçosa, v. 4, p. 391-479, 2005a.

ABREU JÚNIOR, C.H.; OLIVEIRA, F.C.; BERTON, R.; SILVA, F.C. Uso de resíduos orgânicos no pomar. In: MATTOS JÚNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JÚNIOR, J. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo; FUNDAG, 2005b. v. 29, p. 871-896.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press, 1995. 576 p.

ALLEONI, L. R. F.; BEAUCLAIR, E. G. F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 409-415, 1995.

ALMEIDA, J. M.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades químicas de um cambissolo húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 437-445, 2005.

ALTIERI, M. A. **Agroecologia**: as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA-FASE, 1989. 237 p.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 1, n. 1, p. 81-89, 1985.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient ($q\text{CO}_2$) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, p. 393-395, 1993.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.

ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

BAI, Z. G.; DENT, D. L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M. E. **Global assessment of land degradation and improvement**. 1. Identification by remote sensing. Wageningen: ISRIC – World Soil Information, 2008. 70 p.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 641-649, 1998.

BARBOSA, L. A. **Impactos de sistema de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar nos atributos do solo**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.

BATISTA, F.; KANDELER, E.; MORENO, J. L.; ROS, M.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 318-329, 2008.

BONILHA, J. A. **Fundamentos da agricultura ecológica**: sobrevivência e qualidade de vida. São Paulo: Nobel, 1992.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Avaliação de impactos ambientais. In: _____. (Ed.). **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. cap. 14, p. 251-285.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 21 ago. 2013.

BRUGNARO, C. **Análise de variância e teste de Tukey**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2007. Disponível em: <http://www.cca.ufscar.br/wp-content/uploads/2011/09/Tukey.xls>. Acesso em: 11 jun. 2010.

BURNETT, G. W.; PELCZAR JUNIOR, M. J.; CONN, H. J. Preparation of media. In: SOCIETY OF AMERICAN BACTERIOLOGISTS. **Manual of microbiological methods**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1957.

CANA ONLINE. **Variedade de cana rb966928 é a mais plantada no Brasil**. Ribeirão Preto, 2015. Disponível em: <http://www.canaonline.com.br/conteudo/variedade-de-cana-rb966928-e-a-mais-plantada-no-brasil.html#.VjdofNKrRdg>. Acesso em: 12 out. 2015.

CARVALHO, A. M. X.; VALE, H. M. M.; FERREIRA, E. M.; CORDERO, A. F. P.; BARROS, N. F.; COSTA, M. D. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. esp., p. 2709-2716, 2008.

CIABOTTI, E. D. **Atributos microbiológicos, químicos e granulométricos de Organossolo e Latossolos Vermelhos: efeito sazonal e uso do solo**. 2013. 99 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

CIOTTA, M. N. **Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos de calagem em experimento de longa duração**. 2001. 102 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Cana-de-açúcar. safra 2014/2015. Brasília, DF, 2014. v. 1, n. 1, 20 p.

CONCEIÇÃO, P. C. **Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo do solo**. 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

CRECCHIO, C.; GELSOMINO, A.; AMBROSOLI, R.; MINATTI, J. L.; RUGGIERO, P. Functional and molecular responses of soil microbial communities under differing soil management practices. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 1873-1883, 2004.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia**: usando SPSS para Windows. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DE BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, London, v. 1, n. 1, p. 153-176, 1983.

DIAZ, L.F.; SAVAGE, G.M.; EGGERTH, L.L.; GOLUEKE, C.G. **Composting and recycling: municipal solid waste**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 296 p.

DORAN, J. L.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STAWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Org.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, 1996. p. 25-37.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável**: origens e perspectivas de um novo paradigma. 2. ed. Guaíra: Agropecuária, 1999. 157 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FELIX, F. F. **Comportamento do cobre aplicado no solo por calda bordalesa**. 2005. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 177-183, 2010.

FLORA, A. P.; BRUGGER, B. P.; SANTOS, F. R. COUTO, F. P.; NEGRÃO, R. G. **Estresse nutricional em plantas**. 2010. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/articles/34518/1/>>. Acessado em: 12 out. 2015.

FONTANA, A. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica de solos do Brasil**. 2006. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.

GARCIA, J. C. **Efeitos da adubação orgânica, associada ou não à adubação química, calagem e fosfatagem, nos rendimentos agrícolas e de aguardente teórica da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 2005. 82 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GLIESSMAN, S. R. Agroecologia y agroecosistemas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, p. 107-120, 2003.

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

GRISI, B. M.; GRAY, T. R. G. Comparação dos métodos de fumigação, taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimar a biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, p. 109-115, 1986.

HAUG, R.T. **The practical handbook of compost engineering**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. 717 p.

HELUANY, M. H. **Atributos microbiológicos na mudança de uso da terra para produção de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil**. 2014. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

HOWARTH, W.R.; ELLIOTT, L.F.; CHURCHILL, D.B. Mechanisms regulating composting of high carbon to nitrogen ratio grass straw. **Compost Science & Utilization**, Emmaus, v. 3, n. 3, p. 22-30, 1995.

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, DF: EMBRAPA - SPI, 1994. 542 p.

HUNT, J.; BODDY, L.; RANDERSON, H. J.; ROGERS, H. J. An evaluation of 18S rDNA. approaches for the study of fungal diversity in grassland soils. **Microbial Ecology**, New York, v. 47, n. 4, p. 385-395, 2004.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, p. 69-78, 2000.

JAHNEL, M. C. **Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbiológicos na degradação de lodo ativado de curtume em solos**. 1997. 79 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

JAHNEL, M. C.; CARDOSO, E. J. B. N.; DIAS, C. T. S. Determinação do número mais provável de microrganismos do solo pelo método de plaqueamento por gotas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 553-559, 1999.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. N. (Ed.). **Soil biochemistry**. New York: Marcel Decker, 1981. v. 5, p. 415-471.

JOHNSEN, K.; JACOBSEN, C. S.; TORSVIK, V.; SOREBSEN, J. Pesticide effects on bacterial diversity in agricultural soils – a review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 33, p. 443-453, 2001.

JORGE, R.A.B.; ABREU, C.A.; ANDRADE, C.A.; CAMARGO, O.A. Torta de filtro e turfa na mitigação de solo contaminado com resíduo de sucata rico em boro. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 467-476, 2010.

JUCOSKI, G. L. **Toxicidade de ferro e metabolismo antioxidativo em *Eugenia uniflora***. 2011. 77 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

KARCZEWSKA, A. Chemical speciation and of selected heavy metals in soils strongly polluted by copper smelters. In: REUTHER, R. (Ed.). **Geochemical approaches to environmental engineering of metals**. New York: Springer, 1996. p. 55-79.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 1–13, 2010.

KATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KOHLER, J.; CARAVACA, F.; AGUACIL, M. M.; ROLDÀN, A. Elevated CO₂ increases the effect of an arbuscular mycorrhizal fungus and a plant-growthpromoting rhizobacterium on structural stability of a semiarid agricultural soil under drought conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 1710-1716, 2009.

LAMBAIS, M. R. Atividades microbiológicas envolvidas na mineralização da matéria orgânica: potenciais indicadores da qualidade de solos agrícolas. In: MARTOS, H. L.; MAIA, N. B. **Indicadores ambientais**. Sorocaba: PUC, 1997. p.169-174.

LAVELLE, P. Ecology and the challenge of a multifunctional use of soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 8, p. 803-810, 2009.

LOPES, J. F. P.; THEODORO, V. C. A. **Apostila de criação de minhocas e criação de húmus**. Lavras: UFLa/Faepe, 1998.

MACHADO, R. **Sistemas de produção orgânico para soca da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), consorciado com milho (*Zea mays*), feijão (*Phaseolus vulgaris*) e mandioca (*Manihot esculenta*)**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2008.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar**: uma introdução ao procedimento prático. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012. 29 p. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf. Acesso em: 10 jun. 2014.

MARGARIDO, L. A. C. **Valoração ambiental de alguns aspectos funcionais de uma área natural de conservação**. Estudo de caso: Estação Ecológica de Jataí. 1994. 92 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1994.

MARTIN, J. P. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. **Soil Science**, New Brunswick, v. 134, p. 1528-1529, 1950.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa, 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais>>. Acessado em: 21 ago. 2013.

MATOS, M. L. T.; NUNES, C. D. M.; STEINMETZ, S.; MARTINS, J. F. S.; VIEIRA-JUNIOR, R. V.; FACIO, M. L. P.; SILVA, M. F. **Atividade de microrganismos do solo em diferentes períodos de cultivo do arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 8 p. (Circular Técnica, 126).

MCLAUGHLIN, M. J.; HAMON, R. E.; MCLAREN, R. G.; SPEIR, T. W.; ROGERS, S. L. Review: a bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 38, p. 1037-1086, 2000.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores da qualidade do solo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 244, p. 17-29, 2008.

MUNER, L. H. de; RUIZ, H. A.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. G. dos S. Disponibilidade de zinco para milho em resposta à localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 29-38, 2011.

MYERS, B.; WEBSTER, K. L.; MCLAUGHLIN, J. W.; BASILIKO, N. Microbial activity across a boreal peatland nutrient gradient: the role of fungi and bacteria. *Wetlands Ecological Manage.* Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11273-011-9242-2>>.

NOVA CANA.COM. **69% de toda cana plantada no Brasil na safra 2014/15 são variedades RB**. O Estado de São Paulo, São Paulo, 19 nov. 2014. Disponível em: <http://www.novacana.com/n/cana/variedades/variedades-rb-respondem-plantio-cana-191114/>. Acesso em: 20 jan. 2015.

OLIVEIRA, F. R. A. **Sustentabilidade e qualidade do solo em propriedades de cana-de-açúcar orgânica e convencional**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2008.

OLIVIER, S. **Aplicação de resíduos agroindustriais e urbanos em áreas de reflorestamento com *Eucalyptus* spp.** 2011. 107 p. Tese (Doutorado em Ciências) -Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

OURIVES, O. E. A.; SOUZA, G. M.; TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 126-132, 2010.

PARR, J. F.; HORNICK, S. B. Utilization of municipal wastes. In: MEETING, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology**: application in agricultural and environmental management. New York: Marcel Dekker, 1992. p. 545-559.

PASCHOAL, A. D. **Produção orgânica de alimentos**: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI: guia técnico e normativo para o produtor, o comerciante e o industrial de alimentos orgânicos e insumos naturais. Piracicaba: PCLQ/USP, 1994. 191 p.

PASCUAL, J. A.; GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; MORENO, J. L.; ROS, M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 877-1883, 2000.

PAULA, A. M. **Atributos microbiológicos do solo em área de pastagem irrigada com lâminas excedentes de efluentes de esgoto tratado**. 2008. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

PAVINATO, S. P.; MERLIN, A.; ROSOLEM, S. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1031-1040, 2009.

PENTEADO, S. R. **Adubação orgânica**. Preparo fácil de compostos orgânicos e biofertilizantes. Campinas: Via Orgânica, 2000. 51 p.

PINAZZA, A. H.; STOLF, R.; MACEDO, N. Avaliação econômica de sistemas de consórcio intercalar cana-de-açúcar/milho. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 12, p. 11-14, 1994.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Amostragem do solo em área com cana-de-açúcar após calagem. Relação de alguns atributos químicos do solo e a produção de colmos. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, n. 3, p. 31-33, 2001.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 39 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba, 2010. 136 p.

RISSER, P. G. Toward a holistic management perspective. **BioScience**, Oxford, v. 35, p. 414-418, 1985.

RUSCHI, A. **Agroecologia** Brasília, DF: Horizonte, 1978.

SAMPAIO, D. B.; ARAUJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 353-359, 2008.

SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999.

SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

SANTOS, J. E. dos; CAVALHEIRO, F.; PIRES, J. S. R. (Org.). **Faces da polissemia da paisagem: ecologia, planejamento e percepção**. São Carlos: RiMa, 2004. v. 1.

SANTOS, V. B. **Atributos de solo sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional em transição e orgânico no Norte do estado do Piauí**. 2010. 120 f. Tese (Doutor em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, n. 6, p. 613-620, 2009.

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1755-1761, 2007a.

SILVA, R. C.; PEREIRA, J. M.; QUINTINO, R. A.; PIRES, A. J. V.; REI, A. J. D. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 101-107, 2007b.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 1994. 142 p.

SISTROM, W. R. **A vida dos micróbios**. Tradução de K. G. Hell. São Paulo: Pioneira, 1973. 149 p.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 681-689, 2000.

SOCIEDADE BRASILEIRA DOS ESPECIALISTAS EM RESÍDUOS DAS PRODUÇÕES AGROPECUÁRIAS E AGROINDUSTRIAL – SBERA. Disponível em: <http://www.sbera.org.br>. Acesso em: 15 nov. 2015.

SOUZA, F.A.; AQUINO, A.M.; RICCI, M.S.F.; FEIDEN, A. **Compostagem**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 10 p. (Comunicado Técnico, 50).

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration *in situ* using microbial respiration and ¹⁴C labeled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, p. 337-343, 1988.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; KOCHHANN, R. A. Efeito de sistemas de manejo em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 13, p. 61-68, 2007.

STONE, F. L.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; HEINEMANN, A. B.; OLIVEIRA, J. P. de Correlação entre a produtividade do feijoeiro no sistema de produção orgânica e atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 19-25, 2013.

TAWORNPRUEK, S.; KHEORUENROMNE, I.; SUDDHIPRAKARN, A.; GILKES, R. J. Properties of red oxisols on calcareous sedimentary rocks in Thailand. **Geoderma**, Amsterdam, v. 136, p. 477-493, 2006.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 195-276, 2002.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA - UDOP. **Subprodutos da cana se tornaram fonte de receita**. Araçatuba, 2004. Disponível em: <http://www.udop.com.br/index.php?item=busca_biblio>. Acesso em: 12 out. 2013.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **A indústria da cana-de-açúcar**: etanol, açúcar e bioeletricidade. São Paulo, 2008. Disponível em: <www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=25497159>. Acesso em: 13 jun. 2014.

VALARINI, P. J.; FRIGHETTO, R. T. S.; SOUSA, M. D.; SCHIAVINATO, R. J.; CAMPANHOLA, C. Análise integrada do solo para avaliar sistemas de manejo de tomate orgânico e convencional. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 15., 2002, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SBSC, 2002. 1 CD-ROM.

VALENTIN, J. L. **Ecologia numérica**: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. Rio de Janeiro: Interciência, 2000.

VANCE, E. D.; BROOKS, P.C.; JENKINSON, D. S. III. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VAZQUEZ, G. H.; BORTOLIN, R.; VANZELA, L. S.; BONINI, C. dos S. B.; BONINI NETO, A. Uso de fertilizante organofosfatado e torta de filtro em cana-planta Brazilian. **Journal of Biosystems Engineering**, Jeollabuk-do, Republic of Korea, v. 9, n.1, p. 53-64, 2015.

VISAFERTIL. Mogi Mirim, 2015. Disponível em: <<http://www.visafertil.com.br/processofabricacao.php>> Acesso em: 01 jun. 2015.

VORONEY, R. P.; HECK, R. J. The soil habitat. In: PAUL, E. A. (Ed.). **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. 3. ed. Oxford: Oxford Academic Press, 2007. p. 15-40.

WILSON, S. C.; DUARTE-DAVIDSON, R. Z.; JONES, K. C. Screening the environment fate of organic contaminants in sewage sludges applied to agricultural soil: 1. The potential for downward movement to groundwaters. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 185, p. 45-57, 1996.

ZOREL, D. **Atributos químicos e microbiológicos de solo cultivado com cana-de-açúcar sob manejo convencional e orgânico**. 2011. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2011.