



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS  
Programa de Pós-Graduação em Agroenergia**

**Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do  
solo sob cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso,  
Tocantins**

**MARIANA SARAGIOTTO DA SILVA ALVES**

**Palmas - TO**

**2014**



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS  
Programa de Pós-Graduação em Agroenergia**

**Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo sob  
cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso, Tocantins**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal do  
Tocantins, como parte dos  
requisitos para obtenção do título  
de **Mestre em Agroenergia**

**Aluna:** Mariana Saragiotto da Silva Alves

**Orientador:** Prof. Dr. Erich Collicchio

**Co-Orientador:** Dra. Elisandra Solange Oliveira Bortolon

**Palmas - TO**

**2014**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Biblioteca da Universidade Federal do Tocantins**  
**Campus Universitário de Palmas**

---

A474u Alves, Mariana Saragiotto da Silva  
Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo sob cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso, Tocantins / Mariana Saragiotto da Silva Alves. - Palmas, 2014.  
80f.

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, 2014.

Linha de pesquisa: propriedades físicas, químicas e microbiológicas de solos e suas relações com sistemas agrícolas e ecossistemas naturais.

Orientador: Prof. Dr. Erich Collicchio.

1. Culturas agroenergéticas. 2. Indicadores microbiológicos. 3. Qualidade do solo. I. Collicchio, Erich. II. Universidade Federal do Tocantins. III. Título.

**CDD 333.79**

---

**Bibliotecária: Emanuele Santos**  
**CRB-2 / 1309**

**TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.**



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS  
Programa de Pós-Graduação em Agroenergia**

**Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo sob  
cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso, Tocantins**

**Aluna:** Mariana Saragiotto da Silva Alves

**Data da defesa:** 27/06/2014

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da Dissertação foram contempladas.

Prof. Dr. Erich Collicchio (Presidente- UFT)

Prof. Dr.<sup>a</sup> Gláucia Eliza Gama Vieira (Examinador Interno - UFT)

Prof. Junior Cesar Avanzi (Examinador Externo- EMBRAPA)

## DEDICATÓRIA

---

Dedico mais essa conquista à minha família, em especial meus pais *Stela e Edson* que sempre me incentivaram a seguir meus objetivos, ao meu irmão *Mateus* pelo companheirismo de sempre, ao meu marido *Anderson* pelo carinho e paciência diários e, à *nossa filha* que está a caminho e em breve preencherá de forma grandiosa nossas vidas.

## **AGRADECIMENTOS**

---

Agradeço o meu orientador, prof. Dr. Erich Collicchio pela oportunidade concedida e pela confiança depositada em mim nesses dois anos de trabalho;

Agradeço em especial à pesquisadora da Embrapa Dra. Elisandra Bortolon por todos os ensinamentos, atenção e dedicação dispensados para o desenvolvimento desse trabalho;

Agradeço à Jéssica, aluna do curso de Agronomia da Faculdade Católica e estagiária da Embrapa, por ter acreditado no meu potencial como professora e orientadora, e ainda por todo o tempo dedicado ao laboratório com os experimentos desse projeto;

Agradeço à Faculdade Católica do Tocantins, ao Laboratório de Solos, local onde foi conduzido os experimentos;

Agradeço também aos técnicos de laboratório Álvaro e Laine, pela presteza de sempre;

Agradeço à Embrapa e à toda equipe envolvida por realizar as coletas de amostras de solo em áreas agricultáveis no norte do estado do Tocantins.

*“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”*

(George Bernard Shaw)

## SUMÁRIO

---

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. JUSTIFICATIVA .....	19
3. OBJETIVOS .....	20
3.1 Objetivo Geral.....	20
3.2 Objetivos Específicos .....	20
4. REVISÃO DA LITERATURA .....	21
4.1 Qualidade do Solo.....	21
4.2 Indicadores da qualidade de solo .....	22
4.3 Atributos biológicos como indicadores da qualidade do solo .....	26
4.3.1 Biomassa microbiana do solo e Quociente Microbiano .....	26
4.3.2 Respiração Microbiana do solo e Quociente Metabólico .....	28
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	30
5.1 Aspectos gerais do município de Pedro Afonso – TO, onde situa-se a área de estudo.....	30
5.1.1 Localização .....	30
5.1.2 Clima da região .....	31
5.1.3 Solo da região.....	32
5.2 Área de estudo .....	33
5.2.1 Localização e histórico de uso e manejo do solo.....	33
5.3 Tratamentos selecionados .....	35
5.4 Amostragem de solo, transporte e pré-preparo das amostras.....	36
5.5 Caracterização química e física do solo.....	38
5.6 Indicadores microbiológicos da qualidade do solo.....	40
5.6.1 Cálculo do Carbono da biomassa microbiana (CBM).....	40
5.6.2 Cálculo do Quociente microbiano (qM) .....	41
5.6.3 Cálculo da Respiração microbiana (RM).....	42
5.6.4 Cálculo do Quociente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ).....	43
5.7 Parâmetros utilizados para análise dos resultados.....	44
5.8 Análise Estatística.....	45
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	46



6.1 Carbono Orgânico do Solo (CO), Carbono da Biomassa Microbiana do solo (CBM) e Quociente Microbiano (qM).....	46
6.2 Respiração Microbiana (RM) e Quociente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ).....	58
7. CONCLUSÕES .....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66
APÊNDICE .....	78
Apêndice 1 .....	79

## LISTA DE TABELAS

---

01. Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com qualidade do solo .....24
02. Tratamentos selecionados em função de diferentes culturas agroenergéticas e do histórico de uso e manejo do solo das três últimas safras.....35
03. Análises físicas e químicas de Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob diferentes coberturas e cerrado nativo em duas profundidades (0-5cm e 5-10cm) na safra 2012/2013..... 39
04. Classes para indicadores microbiológicos de solo do tipo Latossolo vermelho da região de Cerrado brasileiro (0-10 cm de profundidade) em relação ao carbono orgânico do solo (CO) .....44
05. Parâmetro de solos do cerrado brasileiro para alguns atributos microbiológicos como carbono da biomassa microbiana, respiração basal e carbono orgânico do solo 45
06. Análise de variância realizada para dados de carbono orgânico do solo (CO) nos diferentes tratamentos, considerando as sequências de culturas e as profundidades amostradas ..... 46
07. Análise de variância realizada para a característica de carbono da biomassa microbiana (CBM) nos diferentes tratamentos.....50
08. Análise de variância dos dados de umidade gravimétrica (UG) nos diferentes tratamentos .....53
09. Análise de variância realizada para a característica quociente microbiano (qM) nos diferentes tratamentos..... 56
10. Análise de variância realizada para a característica respiração microbiana (RM) aos

19 dias de experimento (RM) aos 19 dias de experimento.....	59
<b>11. Análise de variância realizada para a característica quociente metabólico (<math>qCO_2</math>)....</b>	<b>62</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

01. Localização do município de Pedro Afonso, Estado do Tocantins.....30
02. (a) Temperatura do ar média anual em °C; (b) precipitação média anual (em mm) no estado do Tocantins. A região de Pedro Afonso está identificada no mapa através do círculo em preto indicado pela seta.....31
03. Mapa de distribuição dos tipos de solo no estado do Tocantins. A região de Pedro Afonso está identificada no mapa através do círculo em preto indicado pela seta 32
04. Localização da Fazenda Brejinho no município de Pedro Afonso, Tocantins.....34
05. Localização dos pontos de amostragem na Fazenda Brejinho em Pedro Afonso.....37
06. Gráfico evidenciando o teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para carbono orgânico do solo (CO) em  $\text{g kg}^{-1}$ . Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C**: cana-de-açúcar; **Ce**: cerrado; **M**: milho silagem; **S/MS**: soja/milho safrinha.....47
07. Gráfico evidenciando o teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para carbono da biomassa microbiana ( $\text{mgC kg}^{-1}$ ) Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C**: cana-de-açúcar; **Ce**: cerrado; **M**: milho silagem; **S/MS**: soja/milho safrinha.....51
08. Teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para umidade gravimétrica (%) de solo sob diferentes coberturas. Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C**: cana-de-açúcar; **Ce**: cerrado; **M**: milho silagem; **S/MS**: soja/milho safrinha.....54
09. Teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para quociente microbiano (%) sob diferentes coberturas. Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C**: cana-de-açúcar; **Ce**: cerrado; **M**: milho silagem; **S/MS**: soja/milho safrinha.....57
10. Dados da respiração microbiana ao longo dos 51 dias de experimento nas profundidades de 0 a 5 cm (**A**) e 5 a 10 cm (**B**).....58

- 11.** Teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para respiração microbiana ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$  solo) aos 19 dias. Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C:** cana-de-açúcar; **Ce:** cerrado; **M:** milho silagem; **S/MS:** soja/milho safrinha .....60

## RESUMO

### Uso de indicadores biológicos para avaliação da qualidade do solo sob cultivo de culturas agroenergéticas em Pedro Afonso, Tocantins

O solo é um recurso natural imprescindível para a manutenção da vida, mas seu uso intensivo e incorreto tem acelerado o seu processo de degradação, o que compromete a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e do ambiente. Entretanto, práticas de manejo que incluem o preparo de solo com baixo ou nenhum grau de revolvimento, e sistemas de culturas com alta adição de carbono (C) ao solo, parecem estar entre as mais importantes para restabelecer a qualidade do solo. Desse modo, os atributos que têm íntima relação com a MOS (matéria orgânica do solo), como os microorganismos do solo, têm maior potencial de serem adotados como indicadores de qualidade do solo. A partir disso, esse trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica da microbiota do solo cultivado com diferentes culturas com potencial agroenergético (cana-de-açúcar a soja e o milho) sob diferentes formas de manejo, a partir da quantificação de indicadores biológicos de qualidade do solo, tomando-se como referência o solo sob condições de Cerrado nativo adjacente. Amostras de solo foram coletadas de lavouras comerciais da Fazenda Brejinho (Pedro Afonso-TO), nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm. Foram determinados o carbono da biomassa microbiana, o carbono orgânico total, a respiração microbiana e foram calculados os quocientes metabólico e microbiano. O carbono da biomassa microbiana e a respiração microbiana sofreram alterações em função do manejo adotado nas diferentes culturas, sendo que, o solo sob cultivo de cana-de-açúcar, sob preparo convencional e sem rotação de culturas, sofreu maior redução da atividade microbiana quando comparado aos solos sob demais culturas e formas de manejo. Por outro lado, para manter e melhorar a qualidade do solo, é necessário adotar técnicas de manejo mais conservacionistas que propiciem menor revolvimento do solo, possibilitando maior retenção de água e a manutenção da umidade do solo, e tendo a rotação de culturas como fonte adição de C ao solo e de diversidade microbiana.

**Palavras-chave:** culturas agroenergéticas; indicadores microbiológicos; qualidade do solo.

## ABSTRACT

### **Use of biological indicators to assess the soil quality under native Cerrado and potential agro-energetic cropping systems in Pedro Afonso, Tocantins.**

Soil is an essential natural resource for life maintenance, but intensive and incorrect uses have accelerated the degradation process of this resource, which compromises the agricultural systems and environmental sustainability. However, management practices including low soil disturbance and cropping systems with high C addition to the soil appear to be among the most important to restore soil quality. Thus, the attributes, which have an intimate relationship with the soil organic matter, such as soil microorganisms, have the greatest potential to be used as indicators of soil quality. After that, in this study we aimed to evaluate the soil microbial communities dynamic under different agro-energy cropping systems, such as sugarcane, soybeans and corn, and we used the soils under native Cerrado as reference. The soil samples were collected on commercial fields from Brejinho Farm (in Pedro Afonso municipality, Tocantins State), considering two depths, 0-5 cm and 5-10cm. We determined the microbial biomass carbon, total organic carbon, microbial respiration, and we calculated the metabolic quotient ( $qCO_2$ ) and the microbial quotient ( $qM$ ). The microbial biomass carbon and microbial respiration were changed by the different cropping systems. The sugarcane cropping system, which involved conventional tillage, without crop rotation, suffered greater reduction of microbial activity compared with the cropping systems under no-till. Thus, to maintain and increase soil quality, it is necessary to expand the conservation management techniques adoption that provide less soil disturbances and increase soil aggregation, allowing water retention and maintenance of soil moisture, and with crop rotation as a source of C addition to soil and microbial diversity.

**Key words:** energetic crops; microbiological indicators; soil quality.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural imprescindível para a manutenção da vida no planeta, mas com a expansão da fronteira agrícola, e conseqüente uso intensivo e incorreto do solo, tem-se acelerado o processo de degradação desse recurso, o que compromete a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e do ambiente (STONE; GUIMARÃES 2005).

No presente momento, o país tem investido na diminuição do uso de combustíveis fósseis (carvão e petróleo), através do uso de biocombustíveis resultantes de biomassa vegetal, como o etanol, proveniente da cana-de-açúcar e o biodiesel, oriundo de espécies oleaginosas como a soja. O uso contínuo de fontes energéticas primárias do tipo fóssil como o carvão, gás natural e petróleo contribuem para o aumento dos níveis de emissão de gás carbônico na atmosfera, tendo como consequência, o aumento da temperatura global devido ao efeito estufa. As crescentes emissões de gases de efeito estufa (GEE), em especial dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), observados no último século, favoreceu a discussão internacional sobre o assunto, em 1997 durante a Conferência entre as Partes (COP), que ocorreu em Kyoto, no Japão. Durante a COP estabeleceu-se o Protocolo de Kyoto, que teve como objetivo a redução dos níveis de emissão de CO<sub>2</sub> médios pelos países industrializados em 5,2% em relação aos níveis de 1990, para o período de 2008 a 2012 (MMA 2014).

Esse cenário requer melhor uso do solo em regiões agricultáveis e, conseqüentemente, aumento da produção por hectare. Sendo assim, esses países, juntamente com os países em desenvolvimento como o Brasil, estabeleceram medidas mitigadoras visando diminuir a emissão de CO<sub>2</sub> no ambiente. A conservação de estoques de carbono (C) nos solos, é uma das ações que contribuem para a redução da concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera (RIBEIRO et al. 2011).



Entretanto, o uso de terras agricultáveis para o plantio de culturas em geral, dando ênfase às aquelas com potenciais bioenergéticos, ocasionou um declínio no estoque da matéria orgânica do solo (MOS) e, conseqüentemente, dos estoques de carbono orgânico do solo (COS) (HOUGHTON et al. 1991). A MOS está relacionada à interação entre fatores físicos, químicos e biológicos do solo. Além desses fatores destacam-se também a manutenção da estabilidade dos agregados do solo, retenção de água, resistência à erosão, disponibilidade de nutrientes para os vegetais, atividade microbiana, capacidade de troca de cátions (CTC), liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, entre outros, sendo considerada um importante indicador da qualidade do solo (MIELNICZUK, 1999).

A redução dos teores de MOS pode ser atribuída às menores quantidades de aportes orgânicos dos sistemas manejados se comparados às florestas nativas (LATHWELL; BOULDIN 1981, NOBRE; GASH 1997), além da maior exposição da MOS ao ataque de microorganismos em função do maior revolvimento e desestruturação do solo (RESCK et al. 1991, CHRISTENSEN 1996). Isso leva a um acelerado processo de mineralização da matéria orgânica e oxidação do COS, tendo como consequência a emissão de CO<sub>2</sub> em excesso, bem como de outros GEE para a atmosfera.

Em função disso, várias estratégias têm sido desenvolvidas para a conservação da capacidade produtiva dos solos e mitigação dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola dos solos (especialmente em regiões tropicais e subtropicais), como o emprego de sistemas conservacionistas de manejo do solo (que incluem o sistema de plantio direto), o emprego de sistemas de culturas baseados na diversidade de espécies cultivadas e alta adição de biomassa vegetal ao solo (BAYER; MIELNICZUK 2008).

Sob este ponto de vista, o comportamento da MOS sob diferentes sistemas de manejo do solo, tem sido sugerido como indicador da qualidade dos solos (VEZZANI, 2001, VEZZANI et al. 2008), principalmente por ser bastante responsiva aos sistemas de

preparo do solo. Porém, as alterações nos estoques de MOS ocorrem lentamente, podendo levar anos para que os efeitos da adoção de diferentes práticas de manejo sejam percebidos.

Entretanto, práticas de manejo que incluem o preparo de solo com baixo ou nenhum grau de revolvimento, e sistemas de culturas com alta adição de C ao solo, parecem estar entre as mais importantes para restabelecer, manter ou melhorar a qualidade do solo (KARLEN et al. 1994, VEZZANI et al. 2008). Desse modo, os atributos que têm íntima relação com a MOS (microrganismos do solo, por ex.), têm maior potencial de serem adotados como indicadores de qualidade do solo.

Neste sentido, dentre os indicadores de qualidade de solo alternativos à MOS, os microbiológicos merecem especial atenção. Segundo Dick et al. (1996), o componente microbiológico do solo é o centro de inúmeros processos e funções, como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, agregação e desagregação de compostos xenobióticos, podendo influenciar na fertilidade do solo e na produtividade dos agroecossistemas.

Conforme exposto, a atividade agrícola constitui em uma importante causa de degradação dos solos no mundo, mas ainda não há indicadores substanciais para a avaliação no nível de degradação do recurso. Doran; Parkin (1994) sugerem alguns critérios para nortear a escolha de um atributo de solo para ser utilizado como um indicador de qualidade/degradação do solo. Assim, um indicador eficiente deve atender os seguintes critérios: i) elucidar os processos do ecossistema integrando atributos químicos, físicos e biológicos; ii) ser sensível às variações climáticas e de manejo (caráter dinâmico); iii) ser acessível aos usuários (agricultores, extensionistas, ecologistas e instituições governamentais), e aplicáveis às condições de campo (caráter de praticidade); e, iv) quando possível, ser componente de um banco de dados já disponível.

Desse modo, as avaliações dos atributos microbiológicos tais como: a taxa de respiração basal, a diversidade, biomassa microbiana e a atividade enzimática do solo, se ajustam à maioria dos critérios para seleção de indicadores de qualidade do solo. Isto deve-se, principalmente, à sua capacidade de responder rapidamente às mudanças derivadas de alterações no manejo, e o fato de que, a atividade microbiana do solo reflete na influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e as transformações dos nutrientes (SPARLING 1992, KENNEDY; PAPENDICK 1995, LEITE et al. 2003).

Estudo realizado por Lopes et al. (2013) gerou, pela primeira vez para solos de Cerrado, valores de referência para indicadores microbiológicos do solo por meio de testes de calibração de nutrientes disponíveis no solo. Classes foram estabelecidas para cada indicador microbiológico em função da produtividade acumulada relativa de milho e soja (RCY - relative cumulative yields em inglês) e, ainda, relacionando com o carbono orgânico do solo. Isso posto, esse trabalho teve como objetivo utilizar indicadores microbiológicos para avaliar a qualidade de solo em área agrícola no estado do Tocantins.

## **2. JUSTIFICATIVA**

A expansão das áreas agricultáveis sobre o bioma de Cerrado (última fronteira agrícola brasileira) visando o cultivo de culturas importantes para a economia brasileira como a soja e o milho, além de culturas como a cana-de-açúcar voltada para a produção de etanol, quando mal manejado, pode resultar em consequências negativas, como a degradação do solo e consequente aumento da emissão de CO<sub>2</sub> para o ambiente, podendo comprometer a sustentabilidade dos agroecossistemas. O manejo inadequado das culturas altera os processos do solo podendo resultar na degradação do mesmo. Sendo assim, o conhecimento da dinâmica da microbiota do solo, a partir de indicadores biológicos de qualidade do solo, como biomassa microbiana e respiração basal, influenciados por diferentes sistemas produtivos e culturas agroenergéticas, em especial a cana-de-açúcar, soja e o milho, é fundamental para uma produção sustentável. Esta abordagem leva em consideração não apenas a função do solo na produção agrícola, mas também sua participação em funções do ecossistema, e sua manutenção em longo prazo. O estudo de indicadores microbiológicos do solo permite o estabelecimento de estratégias para o aumento da produtividade das culturas bioenergéticas através da recuperação, manutenção ou até melhoria da qualidade do solo, com consequente redução de possíveis impactos ambientais causados pelo avanço da área cultivada com tais culturas no bioma do Cerrado.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Utilizar indicadores microbiológicos para avaliar a qualidade do solo cultivado com diferentes culturas produzidas no município de Pedro Afonso, Tocantins, a partir da avaliação da dinâmica da microbiota do solo em lavouras de escala comercial e solo sob condições de cerrado nativo.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Quantificar a emissão de CO<sub>2</sub> a partir da atividade da microbiota do solo, através da medição da taxa de respiração basal do solo, carbono da biomassa microbiana, e quocientes metabólico e microbiano em um Latossolo Vermelho distrófico submetido ao cultivo com cana-de-açúcar, milho e soja, tomando-se como referência uma área de cerrado nativo adjacente;

- Estabelecer comparações entre os indicadores biológicos de qualidade do solo utilizando como parâmetro a estudo feito por Lopes et al. (2013), em solos de Cerrado brasileiro visando a recuperação, manutenção ou até melhora da qualidade do solo, além do estabelecimento de medidas mitigadoras para diminuição de decomposição da matéria orgânica do solo, e consequente redução da emissão de CO<sub>2</sub> no ambiente.

## 4. REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1 Qualidade do Solo

O solo é um sistema dinâmico que pode ser dividido em duas frações: a inorgânica, constituída de rochas e minerais, e a fração orgânica, representada pela matéria orgânica, húmus e a fauna do solo, incluindo os microrganismos. Portanto, pode-se dizer que o solo forma um ecossistema, sendo este fundamental para a sustentabilidade dos demais ecossistemas terrestres (SILVEIRA; FREITAS 2007).

A qualidade do solo está associada ao equilíbrio dinâmico entre as fases orgânica e inorgânica, e também com um contínuo intercâmbio de moléculas e íons entre as fases sólida, líquida e gasosa que compõem esses sistemas. Esse intercâmbio é mediado pelos processos químicos, físicos e biológicos do solo que, segundo Fageria (2002), esses processos possibilitam classificar o solo quanto à sua qualidade.

Alguns dos primeiros autores que definiram o conceito de qualidade do solo foram Doran; Parkin (1994), reformulado mais tarde por Doran (1997), sendo uns dos conceitos mais utilizados nos dias atuais, que diz: “*Qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens*”. Resumindo, é a capacidade do solo exercer suas funções na natureza (DORAN 1997), sendo elas, atuar como meio para crescimento das plantas, permitir o fluxo de água no ambiente, promover a ciclagem de nutrientes e ainda contribuir para a degradação de compostos xenobióticos, prejudiciais ao ambiente. (LARSON; PIERCE 1994, KARLEN et al. 1997). Portanto, a qualidade do solo está intimamente ligada ao estoque e ciclagem de nutrientes, água e energia (CARTER 2001). Sendo assim, a qualidade do solo está relacionada com a

integração das propriedades físicas, químicas e biológicas desse ecossistema (VEZZANI; MIELNICZUK 2009).

Os conceitos mais atuais de qualidade de solo, inserem a relação do solo através do tempo. Isso pode ser visto no conceito dado pelo Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), onde a qualidade do solo é dada pela capacidade do solo em desempenhar suas funções no momento atual e a preservar essas funções para uso futuro (USDA-NRCS 2008). Sendo assim, é na percepção de tempo que reside a relação entre qualidade do solo e sustentabilidade agrícola (VEZZANI; MIELNICZUK 2009).

Alguns autores no Brasil avaliaram a qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas e constataram a importância do plantio direto e da rotação com leguminosas para a conservação da matéria orgânica e consequente conservação da qualidade do solo (FRANCHINI et al. 2007). Outro estudo compara solo utilizado para o cultivo de bananeiras e solo de mata natural, e conclui que o uso agrícola acarreta em redução da biomassa microbiana e comprometimento da atividade microbiana, tendo como consequência a diminuição da qualidade do solo em relação à área sob mata natural (FIALHO et al. 2006).

Portanto, a avaliação da qualidade do solo deve considerar o estudo de algumas de suas propriedades que são consideradas como atributos para o estabelecimento de indicadores de qualidade do solo (DORAN; PARKIN 1994).

#### **4.2 Indicadores da qualidade de solo**

O solo tem propriedades químicas, físicas e biológicas que interagem de maneira complexa, determinando sua qualidade e capacidade de uso. Portanto, apesar do critério “qualidade” não poder ser mensurado diretamente, este pode ser quantificado a partir de mudanças avaliadas nos atributos do solo e/ou do ecossistema, denominando assim os

indicadores de qualidade (SEYBOLD et al. 1997). Os indicadores devem fornecer alguns parâmetros da capacidade do solo levando em consideração a vegetação, a cultura, a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a saúde humana e animal (SEYBOLD et al. 1997). Os indicadores de qualidade do solo são úteis para monitorar as alterações nos processos do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental que ocorram em resposta ao uso agrícola e em relação às práticas de manejo (HARBERERN 1992, PARR et al. 1992, DORAN; PARKIN 1994, DORAN 1997, HUFFMAN et al. 1998, KARLEN et al. 2001, SILVA et al. 2010). Em geral, esses indicadores devem ser relacionados com algumas funções do solo como habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água e elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo à degradação (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Para o estabelecimento de indicadores de qualidade de solo Doran; Parkin (1994) e Larson; Pierce (1994) foram os pioneiros. Doran; Parkin (1994) descreveram um conjunto de possíveis indicadores de ordem biológica, física e química como textura, profundidade de solo e de raízes, densidade do solo, infiltração de água, capacidade de armazenamento e retenção de água, conteúdo de água no solo, temperatura do solo, teores de C e N orgânico total, pH, condutividade elétrica, teores de N mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ), P, K, C e N da biomassa microbiana, N potencialmente mineralizável, respiração do solo, C na biomassa em relação ao C orgânico total e respiração microbiana em relação à biomassa. Posteriormente outros autores também propuseram indicadores de qualidade do solo físicos e químicos como Logsdon; Karlen (2004), Chen et al. (2006), Fidalski; Tormena (2007), Ribeiro et al. (2007), além dos biológicos propostos por Pankhurst (1994), Parisi et al. (2005), Matsuoka et al. (2003), Baretta et al. (2005), Chaer; Tótola (2007), Franchini et al. (2007), Ribeiro et al. (2007) e ainda, indicadores microbiológicos



propostos por Rice et al. (1996), Schloter et al. (2003), Bending et al. (2004), Monokrousos et al. (2006).

Na Tabela 1 abaixo, estão descritos alguns atributos químicos, físicos e biológicos que são interpretados como indicadores da qualidade do solo.

**Tabela 1:** Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo

<b>Indicadores</b>	<b>Relação com a qualidade do solo</b>
Matéria orgânica do solo	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.
<b>Físicos</b>	
Estrutura do solo	Retenção e transporte de água e nutrientes.
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo.
Capacidade de retenção de umidade	Armazenamento e disponibilidade de água.
<b>Químicos</b>	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes.
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana.
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas.
<b>Biológicos</b>	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes.
Mineralização de nutrientes (N, P e K)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes.
Respiração do solo	Atividade microbiana.
Fixação biológica de N <sub>2</sub>	Potencial de suprimento de N para as plantas.
Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica do solo.

**Fonte:** Adaptado de Araújo; Monteiro (2007).

Um dos entraves para o estabelecimento de indicadores de qualidade de solo é a interpretação desses indicadores, ou seja, faz-se necessário saber quando que os índices

obtidos representam uma qualidade de solo satisfatória. A qualidade ideal de um determinado tipo de solo também não é conhecida, e esta vai depender de fatores como o tipo de solo e a cultura estabelecida. Sendo assim, são necessárias referências que sirvam de base para a interpretação e comparação.

Pensando nisso, Lopes e colaboradores (2013) geraram classes para indicadores microbiológicos para o Latossolo Vermelho da região de Cerrado brasileiro por meio de testes de calibração de nutrientes disponíveis no solo. Classes foram estabelecidas como referências para indicadores microbiológicos, como taxa de respiração e biomassa microbiana em função da produtividade acumulada relativa de milho e soja e, ainda, relacionando com o COS.

As práticas de manejo que mantêm ou adicionam carbono orgânico no solo se destacam pois elas mantêm ou melhoram a qualidade do solo (KARLEN et al. 1994), portanto os indicadores que se baseiam na quantificação de carbono no solo (matéria orgânica) têm maiores chances de serem mais adequados para a mensuração da qualidade do solo.

Os atributos biológicos tais como: biomassa microbiana, diversidade e taxa de respiração possuem a capacidade de responder rapidamente a alterações provenientes do manejo do solo, isto porque a atividade microbiana reflete a ação conjunta dos fatores que regulam a decomposição da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (KENNEDY; PAPENDICK 1995). Por isso, os atributos biológicos estão sendo cada vez mais utilizados para avaliar a qualidade do solo, devido à sensibilidade e rapidez na resposta (CHAER, 2001, LOPES et al. 2013).

A seguir, serão descritos os atributos biológicos do solo, dando ênfase aos microbiológicos, pois estes têm sido sugeridos por diversos autores como sendo os mais

sensíveis às alterações no ambiente edáfico, principalmente quando os solos são submetidos a diferentes tipos de manejo.

### **4.3 Atributos biológicos como indicadores da qualidade do solo**

#### 4.3.1 Biomassa microbiana do solo e Quociente Microbiano

Os microrganismos integram a fração orgânica do solo, sendo responsáveis por inúmeras reações bioquímicas relacionadas não só com a transformação da matéria orgânica, mas também com o intemperismo das rochas. Sendo assim, os microrganismos do solo possuem papel fundamental na gênese do solo, na ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e mineralização dos nutrientes aumentando a disponibilidade destes para as plantas.

Os microrganismos do solo compõem a microbiota do solo, sendo representados por grupos de bactérias, actinomicetos, fungos, algas e protozoários. Apesar de constituírem somente 2 a 5% do carbono total do solo (JENKINSON; LADD 1981) e de 1 a 5% do N total do solo (SMITH; PAUL 1990) ocupam menos de 5% do espaço poroso do solo. Mas apesar desses números, a diversidade e a quantidade dos microrganismos é bastante elevada.

Os componentes microbianos vivos do solo são denominados de biomassa microbiana do solo. A biomassa microbiana atua como agente transformador da matéria orgânica do solo, atuando na ciclagem de nutrientes e fluxo de energia. A biomassa microbiana do solo é representada por bactérias e fungos que respondem por cerca de 90% da atividade microbiana do solo. Sendo assim, esses microrganismos atuam em vários processos de importância agrônômica como a decomposição e ressíntese de matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, as transformações bioquímicas específicas como a nitrificação, desnitrificação, mineralização, oxidação e redução do enxofre,

fixação biológica do nitrogênio, a ação antagônica aos patógenos e a produção de substâncias promotoras ou inibidoras de crescimento, entre outras (NETO et al. 2007).

A manutenção da matéria orgânica do solo é extremamente importante em razão da disponibilidade de nutrientes, aumento da capacidade de retenção de água e estrutura do solo. Mas alterações na matéria orgânica do solo podem ser difíceis de monitorar e detectar em um curto período de tempo (SPARLING 1992), portanto, a biomassa microbiana, que possui uma elevada taxa de decomposição, tem sido sugerida como uma medida mais sensível às alterações do conteúdo da matéria orgânica (TURCO et al. 1994).

Alguns trabalhos comprovam que a biomassa microbiana foi eficiente para detectar alterações no solo decorrentes do sistema de manejo que não foram identificadas pelos teores de matéria orgânica (MENDES et al. 2002). Demais autores também utilizaram a quantificação da biomassa microbiana do solo e sua atividade sob diferentes coberturas vegetais, comparando sistemas naturais e agrícolas (MENEZES et al. 1998, SANTANA; MENDES 2000), além de diferentes formas de manejo e práticas agrícolas (VARGAS; SCHOLLES 2000, CARDOSO et al. 2009, SILVA et al. 2010, MELLONI et al. 2012)

Segundo Matsuoka (2006), a quantificação da biomassa microbiana permite o entendimento da ciclagem de nutrientes no solo, mas a sua quantificação a qualquer tempo não permite indicar se há aumento ou diminuição da MOS. Sendo assim, a biomassa microbiana precisa ser comparada com uma variável relativa como o quociente microbiano (qM) que fornece uma medida da quantidade de biomassa viva presente na matéria orgânica do solo.

O índice do qM é obtido através da relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico do solo (COS) indicando qual é o percentual do COS é representado pelo CBM, sendo dada pela fórmula  $((CBM/COS) / 10)$ . Com esse

índice é possível obter a quantidade de carbono imobilizado pela biomassa microbiana (SILVA 2010), representando um dado da qualidade nutricional da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES 1999). Portanto, se a biomassa microbiana estiver sob qualquer condição de estresse a capacidade de utilização do carbono orgânico do solo fica diminuída, representando então diminuição do qM. Se houver alteração da condição de estresse para uma condição favorável haverá maior imobilização de carbono pela biomassa microbiana resultando em um aumento do índice do qM mesmo se os teores de CO permanecerem inalterados. Portanto, a obtenção de índices de CBM e qM são imprescindíveis para permear a obtenção da qualidade biológica do solo.

#### 4.3.2 Respiração Microbiana do solo e Quociente metabólico

Além da CBM e qM que quantificam o carbono presente na biomassa microbiana, há índices como a respiração microbiana (RM) e o quociente metabólico ( $qCO_2$ ) que fornecem informações sobre a atividade metabólica microbiana no solo. Essa atividade metabólica dos microrganismos é quantificada através de indicadores como a liberação de  $CO_2$ , consumo de  $O_2$ , atividade enzimática e quantidade de nitrogênio, fósforo e enxofre mineralizados (GRISI 1995). A respiração microbiana engloba tanto a respiração aeróbia como anaeróbia proveniente da atividade de bactérias, fungos, algas e protozoários do solo (ANDERSON 1982). Sendo que a atividade de respiração representa um indicador indireto da decomposição de resíduos no solo.

Mas, segundo Totola; Chaer (2002) a interpretação dos dados de respiração nem sempre representa um resultado adequado. Altas taxas de respiração podem parecer saudáveis ao solo porque representam alta decomposição dos componentes orgânicos do solo, mas essas altas taxas de respiração podem indicar decomposição da matéria orgânica estável no solo, acarretando alterações nos processos de agregação, capacidade de troca

de cátions e capacidade de retenção de água, entre outros. Sendo assim, para uma interpretação mais adequada da atividade metabólica dos microrganismos do solo é importante conhecer a taxa metabólica de respiração microbiana, o que pode ser feito através do quociente metabólico ( $qCO_2$ ) que mede a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana (MATSUOKA 2006).

O  $qCO_2$  é um quociente que tem sido considerado como indicador de estresse microbiano, ou seja, baixo  $qCO_2$  reflete um ambiente mais estável, diferente de valores elevados que representam ecossistemas submetidos às situações de estresse, como por exemplo, adição de fertilizantes e pesticidas. Castillo; Joergensen (2001) compararam solos sob cultivo convencional e ecológico, utilizando fertilizantes orgânicos, rotação de culturas e cobertura de solo. Os autores obtiveram um índice de  $qCO_2$  maior no cultivo convencional e redução de  $qCO_2$  no cultivo ecológico. Mas como pontuado por Matsuoka (2006), é preciso lembrar que apenas de 15 a 30% da biomassa microbiana do solo é metabolicamente ativa, sendo que a interpretação dos dados de  $qCO_2$  pode causar transtornos pois esse índice representa a atividade microbiana em relação à todo o carbono presente na biomassa microbiana.

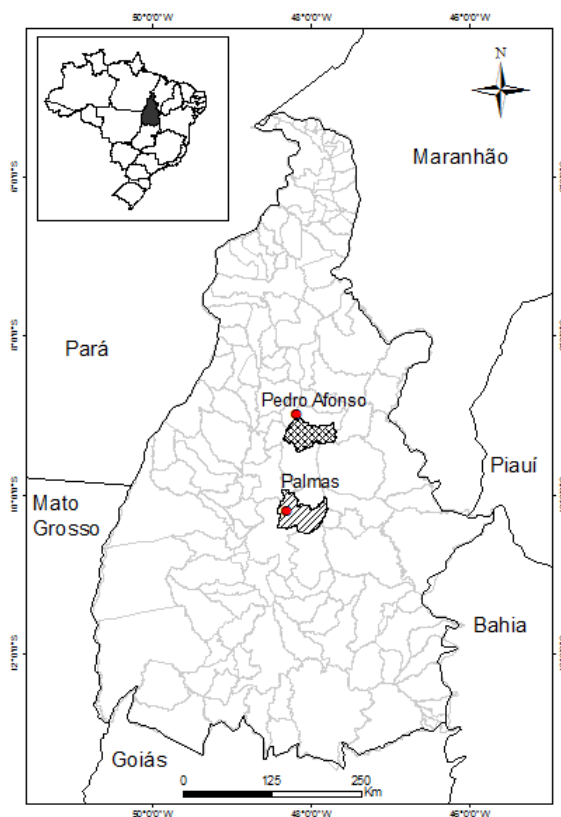
Sendo assim, para o entendimento da qualidade biológica do solo é preciso que todos os índices quantificados estejam funcionalmente bem integrados, portanto tanto os valores de CBM e RM quanto os índices de  $qM$  e  $qCO_2$  são potenciais indicadores da qualidade desse corpo vivo que é o solo.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Aspectos gerais do município de Pedro Afonso-TO, onde situa-se a área de estudo

#### 5.1.1 Localização

O presente projeto teve como foco principal o município de Pedro Afonso, que está localizado na porção centro-norte do Estado, há aproximadamente 230 km ao norte da capital Palmas (Figura 1). O município apresenta uma população de 12.490 habitantes e uma área de 2.010,902 km<sup>2</sup> (IBGE 2013). E ainda, abrange uma das principais áreas de produção de grãos (especialmente soja, milho e sorgo) e de cana-de-açúcar do estado do Tocantins, que são culturas com potencial de uso para geração de energia.

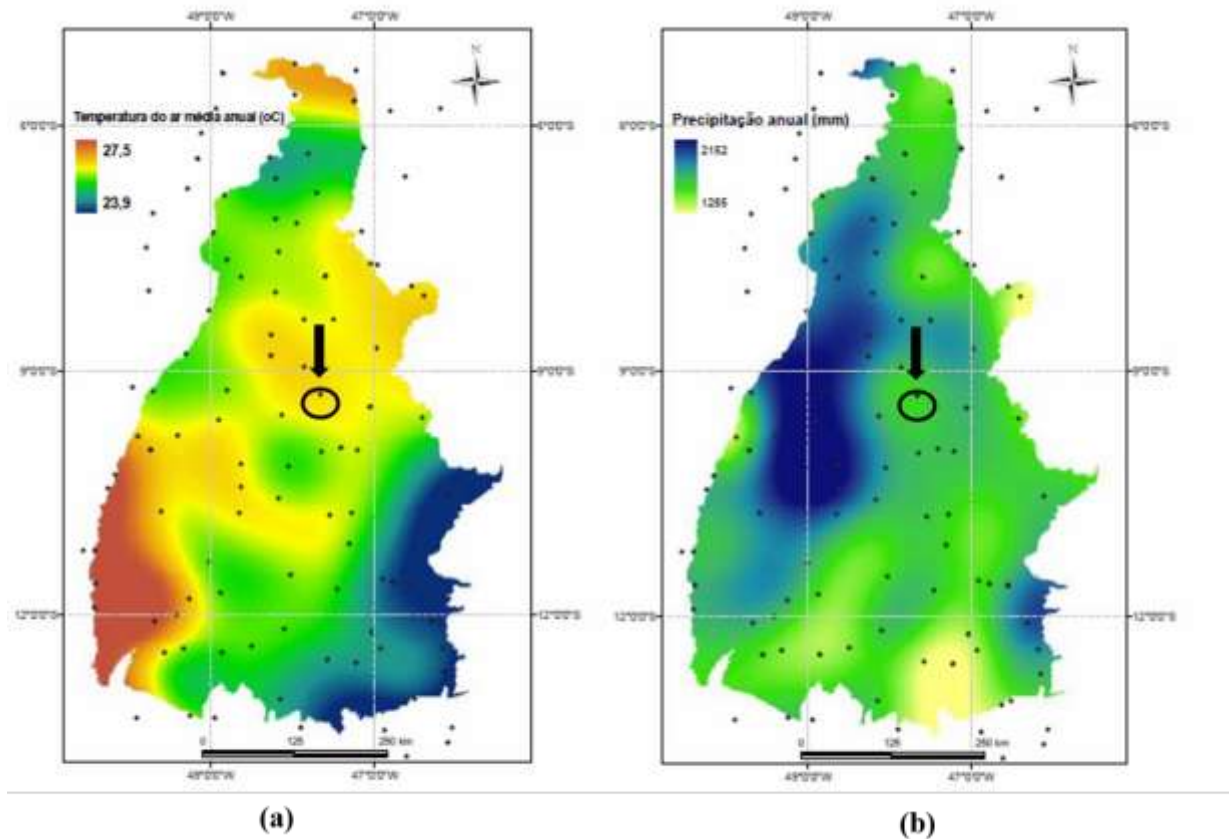


**Figura 1:** Localização do município de Pedro Afonso, Estado do Tocantins.

### 5.1.2 Clima da Região

O clima da região é do tipo úmido subúmido com moderada deficiência hídrica, sendo esse clima caracterizado por inverno com moderada deficiência hídrica, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.

A região de Pedro Afonso apresenta uma temperatura média anual de 27°C, como pode ser observado na Figura 2a. As temperaturas são mais baixas no período chuvoso que vai de novembro a maio. As temperaturas se elevam no período da seca referente aos meses de junho a outubro.



**Fonte:** Adaptado de Collicchio (2008).

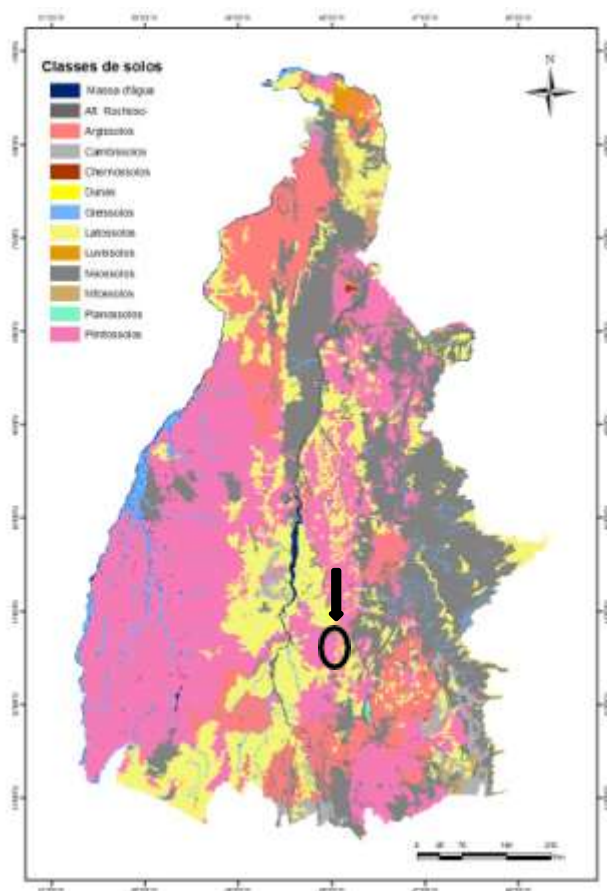
**Figura 2:** (a) Temperatura do ar média anual em °C; (b) precipitação média anual (em mm) no estado do Tocantins. A região de Pedro Afonso está identificada no mapa através do círculo em preto indicado pela seta.



A região possui uma precipitação média anual de 1.700 mm, conforme pode ser observado na Figura 2b.

### 5.1.3 Solo da Região

Na região de Pedro Afonso predominam solos derivados do basalto e arenito com ampla variação dos estoques de C, determinados pela variação natural da vegetação original (principalmente cerrado), temperatura, precipitação, granulometria e composição mineralógica da fração argila (BRASIL 1974). O ambiente geológico da região é formado por bacias sedimentares. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013). Na Figura 3 pode ser observada a distribuição do Latossolo na área estudada.



**Fonte:** Adaptado de Seplan (2012).

**Figura 3:** Mapa de distribuição dos tipos de solo no estado do Tocantins. A região de Pedro Afonso está identificada no mapa através do círculo em preto indicado pela seta.

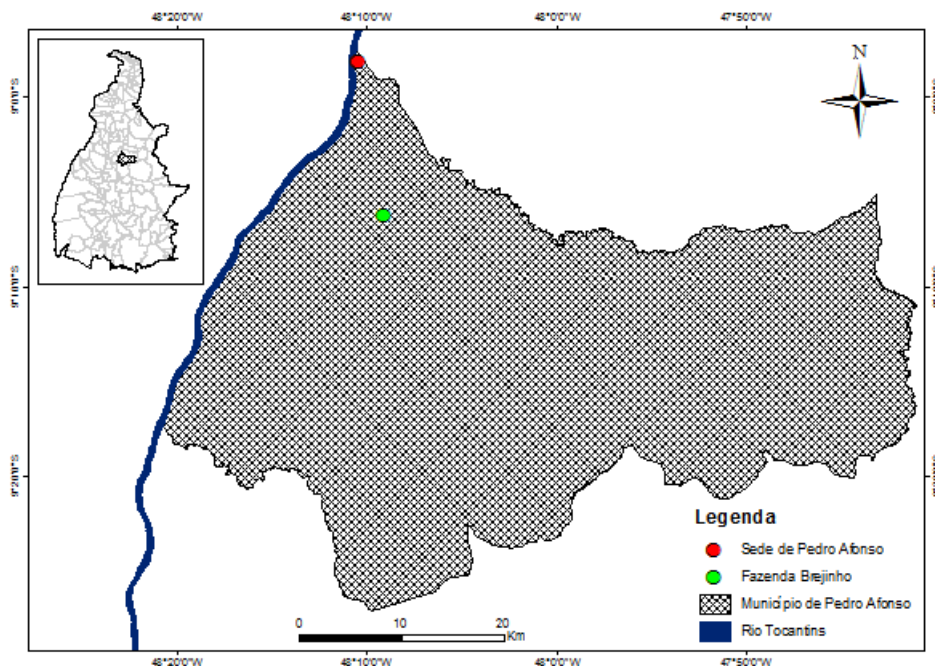
## 5.2 Área de estudo

### 5.2.1 Localização e histórico de uso e manejo do solo

Para a realização do presente estudo selecionou-se a Fazenda Brejinho ( $9^{\circ} 6' 14,26''\text{S}$ ,  $48^{\circ} 9' 5,67''\text{W}$ ), localizada no município de Pedro Afonso (Figura 4), por ser considerada uma referência regional em produção de grãos de soja e milho, principalmente, sob sistemas conservacionistas de manejo de solo, como os sistemas de plantio direto (SPD) e de integração lavoura-pecuária (iLP). Além disso, esta propriedade possui áreas sob vegetação nativa intacta e é circundada por lavouras de produção de cana-de-açúcar, o que juntamente com o histórico de uso e manejo do solo conhecido e documentado, torna a Fazenda Brejinho um excelente local para a condução de estudos com fins de avaliação da qualidade do solo em função do cultivo de diferentes culturas agroenergéticas.

A Fazenda Brejinho possui uma área de aproximadamente 1.500 ha sob uso agrícola, sendo que a maior parte desta área encontra-se sob uso nos sistemas de integração lavoura-pecuária (cerca de 1.300 ha) e lavoura-floresta (aproximadamente 100 ha na integração soja-seringueira).

O uso do solo teve início em 1988, com a conversão de 300 ha de Cerrado nativo em agricultura e aos poucos, novas áreas foram sendo abertas e incorporadas ao uso agrícola até 2004, quando toda a área potencialmente útil para fins agrícolas encontrava-se aberta e sendo consuzida sob SPD.



**Figura 4.** Localização da Fazenda Brejinho no município de Pedro Afonso, Tocantins.

A adoção do sistema de integração lavoura-pecuária ocorreu em 2006, e vem sendo conduzido desde então, tendo a cultura da soja como foco principal da Fazenda Brejinho. As culturas de milho, sorgo, milho e pastagem (*Brachiaria brizantha* cv Marandu e *Brachiaria ruziziensis*), bem como, o bovino de corte são utilizados como alternativas de renda na entressafra e para a rotação de culturas, necessária para a manutenção do SPD que vem sendo adotado na área desde 1990.

A produtividade média da fazenda é de 58 a 60 sacos de 60kg de soja, 100 sacos de 60kg de milho safrinha, e nas áreas sob pastejo a lotação média é de 4,6 UA/ha, com a terminação a pasto de 700 animais/ano. Nas áreas de pastagem, o pasto permanece por 18 meses na mesma gleba e retorna após 4 a 6 anos de uso com lavoura de grãos.

### 5.3 Tratamentos selecionados

Para a seleção dos tratamentos testados neste estudo considerou-se os seguintes critérios: presença de cerrado nativo, cultivo comercial com diferentes culturas com potencial energético, histórico de uso e manejo do solo, mesma classe de solo e homogeneidade de condições de clima e altitude. Para tanto, foram selecionadas três glebas sob cultivo para perfazer os tratamentos estudados, estabelecendo-se como prioritárias as seguintes culturas agroenergéticas: cana-de-açúcar, soja e milho. O cerrado nativo, presente na mesma área, foi tomado como referência.

A descrição dos tratamentos e respectivo histórico de uso e manejo do solo, constam na Tabela 2.

**Tabela 2:** Tratamentos selecionados em função de diferentes culturas agroenergéticas e do histórico de uso e manejo do solo das quatro últimas safras

Tratamentos (Base safra 2012/13)	Tipo de preparo do solo	Sequência de culturas na safra			
		2009/10	2010/11 e 2011/12	2012/13	2013/14
<b>1. Soja/milho safrinha (S/MS)</b>	SPD, iLP	Marandu	Soja/milho (safrinha)	Soja/milho (safrinha)	Soja/marandu+ milheto
<b>2. Soja/Milho silagem (M)</b>	SPD, iLP	Marandu	Soja/milho (safrinha)	Soja/Milho (silagem)	Soja/marandu+ milheto
<b>3. Cana-de- açúcar (C)</b>	PC	Cana	Cana	Cana	Cana
<b>4. Cerrado nativo (Ce)</b>	-		-	-	-

SPD = sistema plantio direto; PC = preparo convencional; iLP = sistema de integração lavoura-pecuária

Cabe destacar que a seleção destes tratamentos (glebas) levou em conta o histórico de uso e manejo do solo das quatro últimas safras (Tabela 2), considerando-se que a

microbiota do solo atua de forma diferenciada em função do tipo (qualidade e quantidade) de resíduo adicionado ao solo pelas diferentes culturas e dos sistemas de manejo de solo adotados em cada gleba ao longo do tempo. Neste sentido, para avaliar os efeitos da produção de grãos (soja e milho), em relação a de cana-de-açúcar, sobre os indicadores microbiológicos em estudo optou-se por glebas cujo histórico envolvia a produção comercial de culturas agroenergéticas em que o manejo do solo e das culturas fossem os mais comumente adotados na região (para grãos o SPD e a rotação de culturas, e para a cana o preparo convencional e monocultivo). Já para avaliar o efeito das culturas produtoras de grãos (soja e milho) entre si, sobre os mesmos indicadores, optou-se por glebas onde o manejo adotado ao longo dos anos fosse similar, mas diferindo na cultura do milho, buscando-se um contraste em relação a quantidade de biomassa vegetal retirada da gleba, considerando-se que para a produção de grãos de milho, somente o grão é removido na colheita e o restante da biomassa vegetal é mantida na gleba, enquanto que para a produção de silagem praticamente toda a parte aérea (>90%) das plantas é removida da gleba, havendo, neste caso, menor adição de carbono ao sistema. Assim, tomou-se o histórico da safra 2012/13 para fins de definição dos tratamentos contrastantes quanto ao uso do solo com culturas agroenergéticas, e além disso, considerou-se que o manejo dado ao solo nesta safra (2012/2013) teria seu efeito na microbiota do solo, e conseqüentemente nos indicadores biológicos em estudo, evidenciado na safra seguinte (2013/14) quando procedeu-se a amostragem do solo.

#### **5.4 Amostragem do solo, transporte e pré-preparo das amostras**

A amostragem de solo foi realizada em todos os tratamentos selecionados no dia 13 de fevereiro de 2014 durante o período de crescimento vegetativo da cultura da soja e da cana-de-açúcar (safra 2013/2014), bem como na área de cerrado. A localização das

glebas amostradas e a distribuição dos pontos de amostragem podem ser observados na Figura 5.



**Figura 5.** Localização dos pontos de amostragem na Fazenda Brejinho em Pedro Afonso

Em cada ponto de amostragem foram abertas, com pá-de-corte, três minitrincheiras (espaçadas de ~3 m) nas dimensões aproximadas 40 cm de largura, 50 cm de comprimento e 35 cm de profundidade, a partir das quais foram extraídas as amostras de solo nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm. Assim, o presente estudo envolveu 12 minitrincheiras (4 tratamentos e 3 repetições) perfazendo um total de 24 amostras coletadas (4 tratamentos, 3 repetições e 2 profundidades). Após aberta, cada minitrincheira foi subdividida em duas no sentido da largura sendo uma parte destinada às amostragens para fins de análises microbiológicas e químicas e a outra para as análises físicas. Para fins das análises microbiológicas e químicas, foi coletado, com o auxílio de espátula, o volume de solo referente a aproximadamente 20 cm de largura 25 cm de comprimento e 5 cm de profundidade (referente às camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm de profundidade), compondo uma amostra de aproximadamente 1,5 litros de solo. As amostras foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos identificados e levadas para o laboratório da Embrapa Pesca e Aquicultura, onde foram mantidas por

uma semana sob refrigeração a temperatura de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , até a realização das análises microbiológicas. As amostras coletadas foram submetidas às análises microbiológicas no laboratório da Faculdade Católica do Tocantins (FACTO). Estas foram homogeneizadas, para determinação do carbono da biomassa microbiana e respiração microbiana. Posteriormente, as amostras foram limpas através da remoção cuidadosa de resíduos de plantas. Além disso, uma subamostra (~0,5 litro), para cada camada amostrada, foi separada e submetida ao laboratório privado para análise química e de granulometria.

Para fins das análises físicas, utilizou-se os 20 cm de largura restantes na mini-trincheira aberta, onde foi inserido um anel de maneira a amostrar a parte central de cada uma das camadas amostradas (0 a 5 cm e 5 a 10 cm de profundidade). O anel foi retirado do solo juntamente com a amostra contida no seu interior com o auxílio de espátula. Após a limpeza a amostra foi acondicionada em saco plástico identificado para posterior determinação, em laboratório, da umidade gravimétrica e da densidade do solo.

### **5.5 Caracterização química e física do solo**

Para fins de caracterização química e física do solo da área em estudo, foram adotados os seguintes procedimentos:

a) química: subamostras foram enviadas para o Laboratório Super para posterior análise dos teores de macro e micronutrientes, além do carbono orgânico total (CO);

b) física: subamostras foram destinadas para a determinação da granulometria (Laboratório Super), pelo método da pipeta; da densidade do solo, pelo método do anel volumétrico (5 cm  $\varnothing$  x 5,3 cm), a partir do qual também foi determinada a umidade gravimétrica, através de secagem em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  até peso constante; e a porosidade total do solo.

O resultado das análises químicas e físicas está descrito na Tabela 3.

**Tabela 3:** Análises físicas e químicas de Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob diferentes coberturas e cerrado nativo em duas profundidades (0-5cm e 5-10cm) na safra 2013/2014

Tratamento	pH	P	K	MO	CO	Al <sub>broc</sub>	Ca	Mg	H+Al	CTC	Saturação por Bases (V%)	Cu	Fe	Mn	Zn	Estoque de COS	Areia Total	Silte	Argila	Densidade do Solo	Umidade Gravimétrica	Porosidade Total
	CaCl <sub>2</sub>	mg/L		g/kg			cmolc/L				%	mg/L			Mg/ha	g/kg				g/cm <sup>3</sup>	%	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
0 - 5 cm																						
M S/MS C Ce	5,24	25,85	123,03	41,66	24,16	0,01	6,61	1,99	2,33	11,25	79,51	0,47	39,17	21,30	2,07	9,63	293,67	177,67	528,67	0,93	31,28	0,65
	5,41	38,52	311,03	60,07	34,84	0,02	7,18	3,29	2,32	13,59	83,14	0,37	31,27	25,20	2,37	13,88	253,00	302,67	444,33	1,05	31,85	0,60
	5,50	8,20	84,73	38,11	22,11	0,01	5,63	2,69	3,14	11,67	73,14	0,30	27,07	8,13	0,70	8,81	299,00	150,00	551,00	1,14	23,96	0,57
	4,02	4,46	101,93	40,92	23,73	1,54	0,39	0,49	10,99	12,13	9,60	0,57	152,70	10,17	0,70	9,54	257,67	161,00	581,33	0,80	29,09	0,70
5 - 10 cm																						
M S/MS C Ce	5,42	16,04	106,40	45,46	26,37	0,02	6,23	1,51	3,34	11,35	71,16	0,37	34,50	14,50	1,30	11,49	269,33	163,67	567,00	1,10	27,29	0,58
	5,40	10,65	294,00	42,34	24,56	0,03	4,72	2,06	5,37	12,91	58,08	0,43	28,10	9,93	1,30	10,70	256,33	269,67	474,00	1,13	27,81	0,57
	5,55	7,39	33,43	37,63	21,83	0,01	5,05	2,50	4,48	12,13	63,16	0,30	35,00	8,03	0,67	9,51	310,67	132,00	557,33	1,07	26,18	0,60
	4,03	3,60	74,23	39,75	23,06	1,77	0,08	0,17	11,83	12,27	3,54	0,40	162,80	7,20	0,37	10,05	258,67	182,33	559,00	0,87	27,06	0,67

M: Lavoura de milho silagem; S/MS: Soja/milho safrinha; C: Lavoura de cana-de-açúcar; Ce: Mata nativa de cerrado.



## 5.6 Indicadores microbiológicos da qualidade do solo

### 5.6.1 Cálculo do carbono da biomassa microbiana (CBM)

Foram calculados os índices de carbono da biomassa microbiana segundo método de Clorofórmio Fumigação-Incubação (CFI), conforme descrito por Matsuoka (2006).

De cada amostra de solo, dentre as 24 amostras coletadas, foram utilizadas duas subamostras de 50 g, cujo teor de umidade foi 70% da capacidade de campo. Essa divisão foi necessária pois uma subamostra foi fumigada e a outra não passou por esse processo.

Da subamostra que foi separada para a fumigação, antes desse passo, foram retirados 2 g de solo das subamostras e reservado, portanto a fumigação foi feita com 48 g de solo de cada subamostra.

Para a fumigação, metade das subamostras foram colocadas separadamente em recipientes de vidros com tampa hermética e capacidade de 800 mL. A fumigação ocorreu através da adição de 5 mL de clorofórmio livre de álcool, com o auxílio de uma pipeta diretamente na amostra. Após a adição de clorofórmio em capela de exaustão, os frascos foram mantidos fechados por um período de 48h. Após esse tempo, os frascos foram colocados na capela de exaustão e mantidos abertos *overnight* para a liberação do clorofórmio volatilizado. Os solos fumigados foram reinoculados com 2 g de solo, da mesma subamostra original. Com o auxílio de uma espátula foi feita a homogeneização de todas as amostras de solo e, em cada vidro foi colocado um copo plástico de 80 mL, contendo 20 mL de NaOH 0,5 M, tanto nas amostras fumigadas como nas não fumigadas. Após 24h foi realizada a primeira leitura a partir da adição de 3,0 mL de BaCl<sub>2</sub> 30% e posterior titulação com HCl 0,3 M, sendo utilizado fenolftaleína 1% como indicador.

Como controle negativo foram utilizados três recipientes de vidro sem solo, contendo a mesma solução de NaOH. Para o cálculo do carbono da biomassa microbiana

(CBM), foram realizadas seis leituras tanto das amostras fumigadas como das não fumigadas por um período de dez dias.

Para a avaliação do C da biomassa microbiana foi utilizado o método da fumigação-incubação (JENKINSON; POWLSON 1976), empregando-se o fator de correção proposto por Horwath et al. (1996) e citado por Lisboa et al. (2012).

$$\text{mgC} - \text{CO}_2 = 1,73\text{F} - 0,56\text{NF}$$

**mgC – CO<sub>2</sub>** = diferença entre carbono da amostra e o CO<sub>2</sub> emitido;

**F** = volume (mL) de ácido utilizado para titular a base referente à amostra fumigada referente à soma dos dez dias;

**NF** = volume (mL) de ácido utilizado para titular a base referente à amostra não fumigada referente à soma dos dez dias;

Os dados de carbono da biomassa microbiana foram expressos em mg C kg<sup>-1</sup> solo seco. Para obtenção desse valor final da CBM, primeiramente o valor obtido na fórmula foi dividido por 0,0361. Esse número representa a quantidade em kg de solo seco de cada amostra. E ainda, esse segundo valor foi dividido por 3,66, que representa a razão da massa molecular do CO<sub>2</sub> em relação ao C. Portanto, ao final, a CBM é expressa em mg C kg<sup>-1</sup> solo seco.

#### 5.6.2 Cálculo do quociente microbiano (qM)

O quociente microbiano (qM) foi calculado de acordo com Sparling (1992), através da fórmula:

$$\text{qM} = (\text{CBM}/\text{CO})/10$$

Onde:

**qM** = quociente microbiano (%);

**CBM** = carbono da biomassa microbiana (mg C kg<sup>-1</sup>);

**CO** = carbono orgânico total (g kg<sup>-1</sup>).

### 5.6.3 Cálculo da respiração microbiana (RM)

A avaliação da respiração microbiana (RM) foi realizada juntamente com as leituras para avaliação do CBM, mas o período das análises se estendeu por 51 dias de incubação, totalizando 10 leituras. A partir da quarta leitura, foi colocado um recipiente com 10 mL de água destilada dentro dos frascos para controle da umidade. Para essa análise, a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado do solo foi quantificado somente nas amostras não fumigadas. As unidades experimentais foram constituídas de recipientes de vidro de 800 mL com tampas herméticas. Foram utilizadas as subamostras de 50 g de solo não fumigadas, incubadas a temperatura ambiente, com umidade de 70% da capacidade de campo. Para este experimento também foram utilizados três recipientes sem amostras como controle negativo (branco).

A medição do CO<sub>2</sub> produzido foi efetuada por meio da solução de NaOH 0,5M presente no interior do frasco, com posterior adição no momento da leitura de BaCl<sub>2</sub> 30% e em seguida quantificado por titulação com HCl 0,3 M. Foi utilizado fenolftaleína a 1% como indicador.

No período de 51 dias foram realizadas dez titulações, sendo que as cinco primeiras titulações foram feitas nos cinco primeiros dias consecutivos e as demais com intervalo de nove dias entre cada uma. Ao final foram obtidos os valores da respiração microbiana acumulada, sendo os valores somados para obter-se o valor referente ao período de 0 a 51 dias de incubação.

Os dados de respiração microbiana são expressos em  $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$  solo, portanto os valores obtidos da respiração acumulada foram divididos por 0,03613, que representa a quantidade de kg de solo seco em cada amostra.

#### 5.6.4 Cálculo do quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ )

O quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração microbiana (TRM) e o carbono da biomassa microbiana (CBM) (ANDERSON; DOMSCH 1993) sendo expresso em  $\text{mg C-CO}_2 \text{ mg Cmic}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , conforme fórmula abaixo:

$$q\text{CO}_2 = \text{TRM}/\text{CBM}$$

$$\text{TRM} = \text{RM}/d$$

Onde:

$q\text{CO}_2$  = quociente metabólico ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ mg Cmic}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ );

**RM** = respiração microbiana ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ );

**d** = dias de incubação para determinação da respiração microbiana, no caso, 51 dias;

**TRM** = taxa de respiração microbiana ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ );

**CBM** = carbono da biomassa microbiana ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ).

## 5.7 Parâmetros utilizados para análise dos resultados

Para a análise dos resultados obtidos, foi utilizado como referência dos indicadores microbiológicos do solo, como biomassa microbiana do solo e respiração basal, os parâmetros disponibilizados por Lopes et al. (2013).

Neste trabalho foram gerados valores de referência para indicadores microbiológicos do solo por meio de testes de calibração de nutrientes disponíveis no solo. Classes foram estabelecidas para cada indicador microbiológico em função do carbono orgânico do solo (CO).

As tabelas abaixo mostram os valores de referência que foram utilizados para comparação neste trabalho. A Tabela 4 mostra os valores de referência dos indicadores microbiológicos em relação ao carbono orgânico do solo (CO).

**Tabela 4:** Classes para indicadores microbiológicos de solo para a classe de Latossolo Vermelho da região de Cerrado brasileiro (0-10 cm de profundidade) em relação ao carbono orgânico do solo (CO)

Indicadores Microbiológicos	Classes de acordo com a função de C orgânico do solo (CO)*		
	Baixo	Moderado	Alto
Carbono da biomassa microbiana (CBM), mgCkg <sup>-1</sup>	≤ 205	206-405	>405
Respiração microbiana (RM), mgCkg <sup>-1</sup>	≤ 40	41-100	>100

\*Classes para CO são: Baixo: ≤15,2 g kg<sup>-1</sup>; Moderado: 15,3-18,2 g kg<sup>-1</sup>; Adequado: >18,2 g kg<sup>-1</sup>.

**Fonte:** Adaptado de Lopes et al. (2013).

Foram estabelecidos também parâmetros para solos nativos de cerrado brasileiro, conforme Tabela 5.

**Tabela 5:** Parâmetro de solos do cerrado brasileiro (0-10 cm de profundidade), para alguns atributos microbiológicos como carbono da biomassa microbiana, respiração basal e carbono orgânico do solo

	<b>CBM</b> <b>mg C kg<sup>-1</sup></b>	<b>RM</b> <b>mg C kg<sup>-1</sup></b>	<b>CO</b> <b>g kg<sup>-1</sup></b>
<b>Cerrado</b>	667	60	19,7

CBM: carbono da biomassa microbiana; RM: respiração microbiana; CO: carbono orgânico do solo.

**Fonte:** Adaptado de Lopes et al. (2013).

Esses valores foram utilizados com a finalidade de comparação com os valores obtidos para indicadores biológicos como, carbono da biomassa microbiana e respiração microbiana, nas análises feitas em amostras deste trabalho comparadas com solo nativo.

### **5.8 Análise Estatística**

O experimento foi conduzido no esquema fatorial em faixas com três repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação das cultivares e dois níveis de profundidade de solo. O esquema experimental em faixas foi utilizado devido a ausência de casualização no fator profundidade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas através do teste de Tukey, com nível de significância (p) de 0,05. As análises estatísticas foram realizadas no programa R (R CORE TEAM 2014).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Carbono Orgânico do Solo (CO), Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBM) e Quociente Microbiano (qM)

Os valores obtidos nas titulações em laboratório e cálculos dos atributos microbiológicos analisados como CBM (carbono da biomassa microbiana), TRM (taxa de respiração microbiana), RM (respiração microbiana), qM (quociente microbiano), qCO<sub>2</sub> (quociente metabólico) estão apresentados no Apêndice 1.

A análise de variância para os dados de carbono orgânico do solo (CO), mostra que houve diferença estatística entre os tratamentos (culturas), profundidades e interação entre culturas e profundidades, como pode ser observado na Tabela 6.

**Tabela 6:** Análise de variância realizada para dados de carbono orgânico do solo (CO) nos diferentes tratamentos, considerando as sequências de culturas e as profundidades amostradas

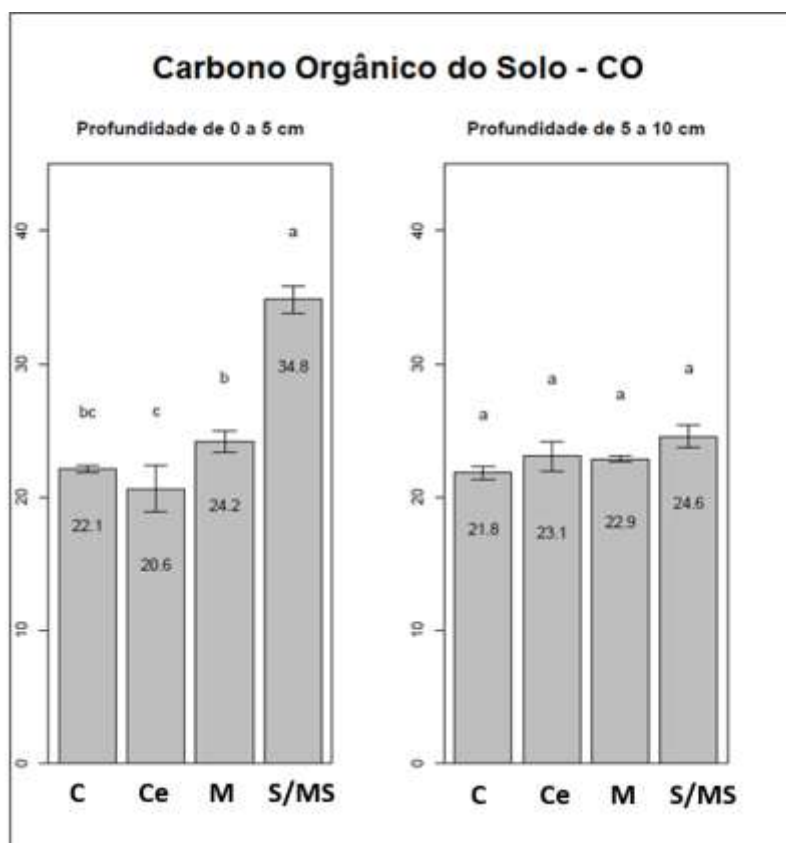
Fonte de Variação	GL	Sq	QM	F	P-valor
<b>Culturas</b>	3	247,41	82,47	19,66	0,000476*
<b>Erro A</b>	8	33,55	4,19		
<b>Profundidade</b>	1	33,28	33,28	42,92	0,0225*
<b>Erro B</b>	2	1,44	0,78		
<b>Culturas x Profundidade</b>	3	136,69	45,56	35,74	0,000319*
<b>Erro C</b>	6	7,65	1,27		
<b>CV%</b>					4,64%

**GL:** graus de liberdade; **Sq:** soma dos quadrados; **QM:** quadrado médio; **CV:** coeficiente de variação; \* significativo a 5%.

O gráfico mostrado na Figura 6 evidencia, através do teste de comparação entre as médias dos tratamentos, que na profundidade de 0 a 5 cm houve diferença significativa. Destaca-se que, na gleba sob cultivo com a sequência soja/milho safrinha houve maior aporte de carbono orgânico no solo (34,8 g kg<sup>-1</sup>), e que no cerrado nativo, constatou-se

menor quantidade de carbono orgânico do solo ( $20,6 \text{ g kg}^{-1}$ ). Já na gleba sob cultivo com milho para silagem e cultivada com cana-de-açúcar, observou-se valores intermediários de CO. Na profundidade de 5 a 10 cm não houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos (Figura 6).

As médias dos tratamentos para carbono orgânico do solo (CO) para as profundidades de 0-5 cm e 5-10cm foram  $25,45$  e  $23,10 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente.



**Figura 6:** Gráfico evidenciando o teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para carbono orgânico do solo (CO) em  $\text{g kg}^{-1}$ . Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. C: cana-de-açúcar; Ce: cerrado; M: milho silagem; S/MS: soja/milho safrinha.

A adição de carbono via resíduos vegetais no cultivo baseado na rotação de culturas iLP – S/MS (Marandu/Soja/Milho safrinha/Soja), resultou em acúmulo de matéria orgânica no solo, especialmente na porção superior do solo, até 5 cm de profundidade, refletindo-se em maior concentração de C ( $34,84 \text{ g kg}^{-1}$ ) e no valor de



estoque de COS, neste tratamento de 13,88 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 3).

O fato do valor de COS nesta gleba, ser maior que no cerrado nativo (9,54 Mg ha<sup>-1</sup>) pode estar relacionado à proteção física exercida pelas raízes fasciculadas das gramíneas, principalmente das plantas forrageiras, evitando a degradação da matéria orgânica do solo pela ação microbiana (BALESDENT et al. 2000, CARNEIRO et al. 2009). Ou ainda, os aumentos significativos na quantidade de resíduos de culturas, acrescentado pelos diferentes sistemas de cultivo em resposta aos fertilizantes, como o fósforo (P) levando à um aumento do teor de CO no solo (LOPES et al. 2013). Nas áreas de produção, o estoque de COS é diretamente proporcional aos teores de P e à saturação por bases (V%) do solo, evidenciando que a fertilidade do solo tem grande influência no aporte de material vegetal que será transformado em COS. Este comportamento não foi identificado na área de cerrado nativo, que mesmo com baixos teores de P e de V% apresentou valores de estoque de COS superiores ao encontrado para o cultivo de cana-de-açúcar. Provavelmente a grande biodiversidade da área nativa favoreceu a melhor fertilidade em relação à área de monocultivo. Tais tendências podem ser observadas na caracterização química dos tratamentos em estudo (Tabela 3).

Em trabalho feito por Carneiro et al. (2009), menores quantidades de carbono orgânico do solo foram observadas em milheto sob plantio convencional (34,2 g kg<sup>-1</sup>) e nabo (31,1 g kg<sup>-1</sup>) e sorgo (30,6 g kg<sup>-1</sup>) cultivados em plantio direto, em relação a áreas cultivadas com pastagens (34,4 g kg<sup>-1</sup>).

Neste sentido, constata-se que para o Latossolo Vermelho distrófico, para a profundidade de 0-5 cm, os sistemas de produção das culturas agroenergéticas soja/milho safrinha e milho para silagem estão apresentando concentrações de COS ligeiramente maiores que o Cerrado (Figura 6). Já a cana-de-açúcar, que é conduzida sob preparo

convencional do solo, não foi observado diferença. Entretanto, se for considerado o estoque de COS (Tabela 3), calculado em função da concentração de COS e da densidade do solo, percebe-se que o solo cultivado com cana evidencia tendência de redução nos estoques de COS em relação a condição nativa, enquanto os demais sistemas avaliados evidenciam tendência de acúmulo de C no solo, mesmo no caso do em que a adição de C pela biomassa do milho foi reduzida devido a remoção da parte aérea da cultura para silagem, na safra 2012/13.

Segundo Lopes et al. (2013) que compararam o COS em diferentes cultivares e formas de manejo em Latossolo Vermelho distrófico, constataram-se que, para a camada de 0 a 10 cm de profundidade, valores de CO menores que  $15,2 \text{ g kg}^{-1}$  são considerados baixos, valores entre  $15,3$  e  $18,2 \text{ g kg}^{-1}$  são considerados moderados, e valores acima  $18,2 \text{ g kg}^{-1}$  são considerados adequados. Sendo assim, todos os valores de COS obtidos para todos os tratamentos avaliados estão adequados quanto à concentração de CO.

Vale ressaltar que, alterações na matéria orgânica do solo podem ser difíceis de serem detectadas em um curto período de tempo (SPARLING 1992). Já a biomassa microbiana que possui uma elevada taxa de decomposição, tem sido sugerida como uma medida mais sensível às alterações do conteúdo da matéria orgânica (TURCO et al. 1994).

A Tabela 7 mostra a análise de variância para o carbono da biomassa microbiana (CBM) e evidencia que há diferença estatística entre os diferentes tratamentos (culturas) ( $p < 0,001$ ), mas não há diferença significativa entre as profundidades e culturas e profundidades analisadas ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 7:** Análise de variância realizada para a característica de carbono da biomassa microbiana (CBM) nos diferentes tratamentos

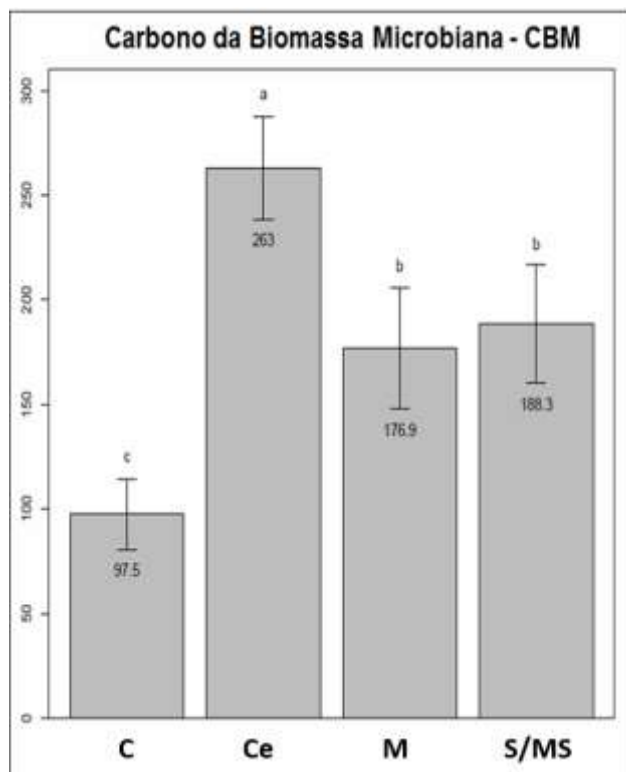
Fonte de Variação	GL	Sq	QM	F	P-valor
<b>Culturas</b>	3	82607	27536	30,61	< 0,001*
<b>Erro A</b>	8	7197	900		
<b>Profundidade</b>	1	39608	39608	8,859	0,0968
<b>Erro B</b>	2	8942	4471		
<b>Culturas x Profundidade</b>	3	12003	4001	2,774	0,133
<b>Erro C</b>	6	8653	1442		
<b>CV%</b>					20,93%

**GL:** graus de liberdade; **Sq:** soma dos quadrados; **QM:** quadrado médio; **CV:** coeficiente de variação; \* significativo a 5%.

A Figura 7 mostra os dados obtidos a partir do teste de comparação entre as médias dos tratamentos (Tukey) através do gráfico de colunas. É possível observar que o valor de CBM para o solo sob Cerrado (Ce), apresentou o maior valor (263,00 mgCkg<sup>-1</sup>), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. O solo cultivado sob cana-de-açúcar (C) apresentou o menor CBM (97,50 mgCkg<sup>-1</sup>) se comparado com os demais tratamentos, sendo que os tratamentos soja/milho safrinha (S/MS) e milho silagem (M) não diferiram estatisticamente entre si.

A média geral do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi de 181,43 mgCkg<sup>-1</sup>.

1.



**Figura 7:** Gráfico evidenciando o teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para carbono da biomassa microbiana ( $\text{mgC kg}^{-1}$ ). Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C:** cana-de-açúcar; **Ce:** cerrado; **M:** milho silagem; **S/MS:** soja/milho safrinha.

Portanto, todos os sistemas de produção avaliados alteraram a concentração de CBM do solo, apresentando redução de 63%, 32,7% e 28,5% para os tratamentos de cana-de-açúcar, milho silagem e soja/milho safrinha, respectivamente, em relação ao Cerrado.

A biomassa microbiana do solo é um dos mais importantes atributos biológicos, pois é a parte viva da matéria orgânica do solo atuando como agente de transformação bioquímica dos resíduos adicionados ao solo e compostos orgânicos, bem como reservatório de nutrientes do solo (MOREIRA; SIQUEIRA 2006). Portanto um solo com maior biomassa microbiana, é considerado um solo saudável biologicamente, conseguindo contribuir com a necessidade de nutrientes de uma cultura. Segundo Lopes et al. (2013) a quantidade de biomassa microbiana para um solo com quantidade de

carbono orgânico adequado, deve obter um valor de CBM maior que 405 mgC/kg de solo. Neste estudo, todos tratamentos, incluindo Cerrado, obtiveram valores entre 97,50 e 263,00 mgC/kg, ou seja, valores menores que os referenciados por Lopes et al. (2013).

Entretanto, proporcionalmente, o solo sob cultivo de cana-de-açúcar, que possui como forma de manejo o plantio convencional, apresentou o menor índice de biomassa microbiana. Segundo Moreira; Siqueira (2006) a população microbiana pode variar em função da espécie vegetal, ou até mesmo entre variedades, devido à diferença na qualidade e quantidade dos exsudados liberados. Estes compostos favorecerão grupos nutricionais específicos na rizosfera. Portanto, a maior diversidade de espécies vegetais, como observado principalmente no Cerrado, mas também nos cultivos com milho silagem e soja/milho safrinha em relação à área de monocultivo de cana, pode contribuir com o aumento da biomassa microbiana por disponibilizar diferentes fontes de carbono e nitrogênio facilmente assimiláveis (SILVA et al. 2013). Observando os valores obtidos de CBM, o maior valor foi para o Cerrado que provavelmente possui maior diversidade de espécies, seguido do tratamento com soja/milho safrinha, em seguida, milho silagem e por último o valor de CBM para a cana-de-açúcar. As condições favoráveis no solo sob vegetação nativa como: umidade, temperatura, melhor distribuição do sistema radicular, ausência de preparo do solo, maior heterogeneidade florística, adição contínua de resíduos de serapilheira, em comparação às áreas cultivadas, são fatores que contribuem com a biomassa microbiana do solo (MATSUOKA 2006).

Por outro lado, o revolvimento do solo é um fator que, em geral, afeta negativamente o CBM. Segundo Ingels et al. (2005), que avaliaram diferentes espécies de cobertura em solo revolvido e não revolvido, observaram que o solo não revolvido com mistura de espécies de cobertura, apresentou maior valor de CBM quando

comparado ao solo controle revolvido.

Já a análise de variância para umidade gravimétrica (UM) do solo diferiu estatisticamente entre as culturas, profundidade e interação entre culturas e profundidade, como pode ser observado na Tabela 8.

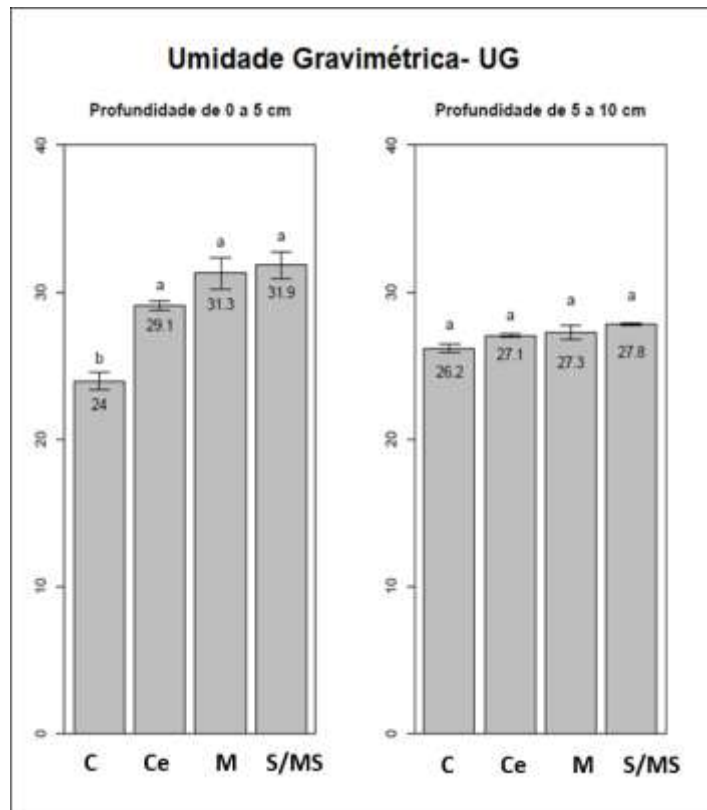
**Tabela 8:** Análise de variância dos dados de umidade gravimétrica (UG) nos diferentes tratamentos

Fonte de Variação	GL	Sq	QM	F	P-valor
<b>Culturas</b>	3	81,54	27,179	53,92	1,19e-05*
<b>Erro A</b>	8	4,03	0,504		
<b>Profundidade</b>	1	22,971	22,971	32,38	0,0295*
<b>Erro B</b>	2	1,419	0,709		
<b>Culturas x Profundidade</b>	3	38,99	12,998	7,034	0,0217*
<b>Erro C</b>	6	11,09	1,848		
<b>CV%</b>					4,84%

**GL:** graus de liberdade; **Sq:** soma dos quadrados; **QM:** quadrado médio; **CV:** coeficiente de variação; \* significativo a 5%.

Observando a Figura 8, nota-se que as médias de umidade gravimétrica quanto à profundidade de 0 a 5 cm, não diferiram significativamente para os solos cultivados sob milho silagem, soja/milho safrinha e solo sob vegetação de Cerrado nativo. Já o solo cultivado sob cana-de-açúcar diferiu estatisticamente dos demais tratamentos possuindo menor umidade gravimétrica (24%). Já na profundidade de 5 a 10 cm não houve diferença estatística entre os tratamentos como também pode ser observado na Figura 8.

As médias gerais para a característica umidade gravimétrica foram 29,03 e 27,10%, para as profundidades de 0-5cm e 5-10cm respectivamente.



**Figura 8:** Teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para umidade gravimétrica (%) de solo sob diferentes coberturas. Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C:** cana-de-açúcar; **Ce:** cerrado; **M:** milho silagem; **S/MS:** soja/milho safrinha.

Os valores obtidos de umidade gravimétrica nos tratamentos estão em sinergia com os valores obtidos de CBM, já que os maiores valores encontrados de CBM foram respectivamente em cerrado, soja/milho safrinha e milho silagem, assim como os valores de umidade do solo que não diferiram estatisticamente entre os três tratamentos. Além disso, a cana apresentou o menor valor de umidade em relação aos demais tratamentos. O solo sob cultivo de cana-de-açúcar e preparo convencional proporciona uma menor quantidade de resíduos vegetais em superfície, quando comparado aos demais tratamentos. Este fato possibilita que a superfície do solo permaneça mais exposta aos raios solares, e conseqüentemente, resulta em um maior aquecimento e evaporação nas

camadas mais superficiais. Essa tendência não foi observada para a camada de 5 a 10cm.

Alguns trabalhos evidenciaram que a umidade do solo é um dos principais fatores que contribuem para a regulação do carbono da biomassa microbiana no solo (CARVALHO 1997, WARDLE 1998, ESPÍNDOLA et al. 2001, GAMA-RODRIGUES et al. 2005).

Espíndola et al. (2001) associaram a elevação do carbono microbiano do solo à elevação da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica, levando às condições favoráveis ao aumento da biomassa microbiana no solo. Já, Gama-Rodrigues et al. (2005), concluíram que os teores de C e N, e CBM foram mais influenciados pelo teor de argila e umidade do solo do que por outras características edáficas.

Outro fator calculado foi o quociente microbiano (qM), que foi obtido através da relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total do solo (CO). Com esse índice é possível obter a quantidade de carbono imobilizado pela biomassa microbiana (SILVA 2010), representando um dado da qualidade nutricional da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES 1999), ou seja, o qM é um indicador da disponibilidade de matéria orgânica para os microrganismos do solo.

A Tabela 9 mostra os resultados da análise de variância para o quociente microbiano, nos diferentes tratamentos analisados. Como pode ser visualizado, existe diferença significativa entre as culturas e entre a interação culturas e profundidade do solo.



**Tabela 9:** Análise de variância realizada para a característica quociente microbiano (qM) nos diferentes tratamentos

Fonte de Variação	GL	Sq	QM	F	P-valor
<b>Culturas</b>	3	1,6425	0,5475	12,22	0,00235*
<b>Erro A</b>	8	0,3584	0,0448		
<b>Profundidade</b>	1	0,46448	0,4648	10,95	0,0805
<b>Erro B</b>	2	0,0849	0,0425		
<b>Culturas x Profundidade</b>	3	0,2104	0,07015	5,308	0,04*
<b>Erro C</b>	6	0,0793	0,01322		
<b>CV%</b>					15,73%

**GL:** graus de liberdade; **Sq:** soma dos quadrados; **QM:** quadrado médio; **CV:** coeficiente de variação; \* significativo a 5%.

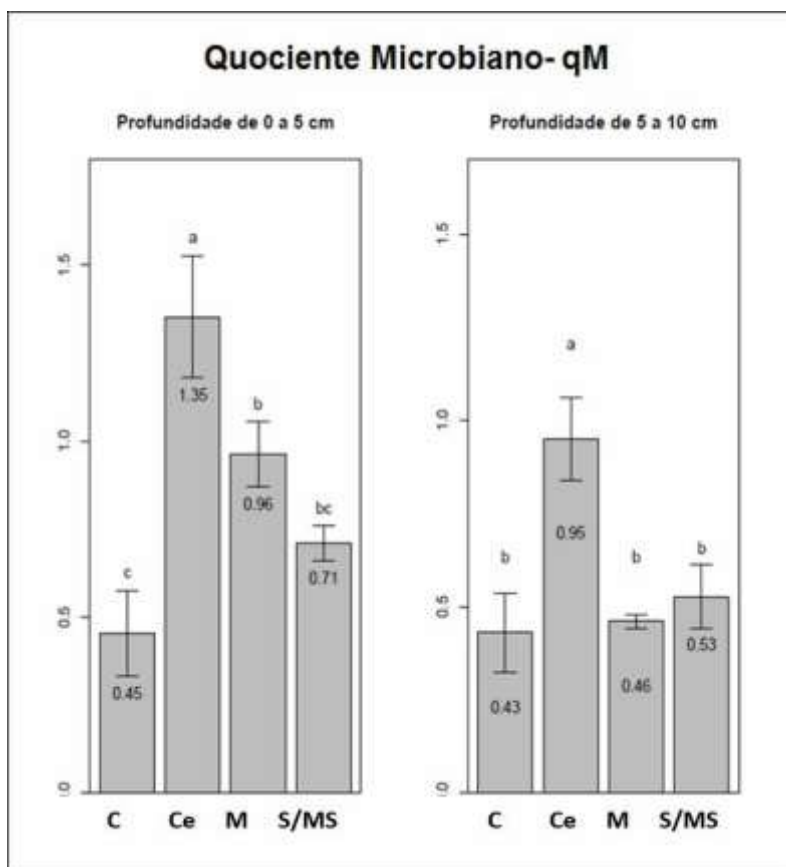
De forma geral, a contribuição do carbono da biomassa microbiana (CBM) para o CO nos sistemas de cultivo avaliados, considerando as duas faixas de profundidade do solo, foi baixa, variando entre 0,43% e 0,96%. O Cerrado nativo apresentou maior qM, sendo de 1,35% e 0,95% nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10cm respectivamente (Figura 9).

Na profundidade de 0 a 5 cm, o solo sob cultivo de cana-de-açúcar que apresentou menor qM (0,45%), não diferiu estatisticamente do tratamento soja/milho safrinha, com 0,71%. Todos os qMs dos sistemas de cultivo foram estatisticamente inferiores ao do cerrado nativo, que obteve um qM de 1,35%.

Tais resultados estão condizentes com o esperado, já que maiores valores de qM indicam condições mais estáveis, com imobilização de carbono na biomassa microbiana e, portanto, melhor qualidade nutricional da MOS. Por outro lado, valores baixos de qM, como os obtidos na área sob cultivo com cana, indicam instabilidade do ambiente devido e presença de MOS de menor qualidade, o que limita a atuação da microbiota na realização de suas funções no solo.

Já na profundidade de 5 a 10 cm que todos os solos cultivados (cana-de-açúcar;

milho silagem; soja/milho safrinha), não diferiram estatisticamente entre si, mas obtiveram menores valores de qMs (0,43%; 0,46%; 0,53% respectivamente), se comparado ao solo sob cerrado, que obteve qM de 0,95%, indicando mesma tendência da camada mais superficial (Figura 9).



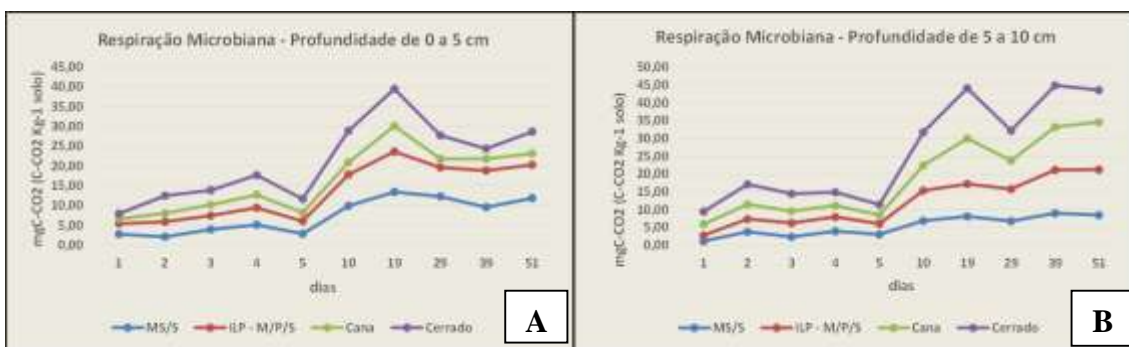
**Figura 9:** Teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para quociente microbiano (%) sob diferentes coberturas. Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C:** cana-de-açúcar; **Ce:** cerrado; **M:** milho silagem; **S/MS:** soja/milho safrinha.

D'Andréa et al. (2002) em estudo com diferentes sistemas de manejo em Latossolo Vermelho distrófico, obtiveram na camada de 0 a 10 cm valores de qM entre 1,52 e 8,10%, sendo o maior valor referente ao cerrado. Já Mercante et al. (2000), em variados sistemas de manejo e rotação de culturas, obtiveram valores de 0,76% para braquiária e 1,08% para sistema de plantio direto, e ainda, maior valor na mata nativa

com qM de 1,16%. Trabalho feito por Iwata et al. (2010), analisaram atributos microbiológicos para avaliação do solo em sistemas agroflorestais, comparado com mata nativa e verificaram que o quociente microbiano foi maior no solo sob Cerrado nativo na camada de 0-5 cm, seguido do sistema agroflorestal com 13 anos. No entanto, os quocientes decresceram significativamente com o aumento das profundidades nos sistemas estudados, como também foi observado nesse estudo. Essas variações podem estar relacionadas com o manejo do solo, monoculturas, rotação de culturas, além do grau de estabilização do carbono orgânico (MATSUOKA 2006).

## 6.2 Respiração Microbiana (RM) e Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)

Os dados referentes à respiração microbiana acumulada aos 51 dias, não diferiram estatisticamente, mas como pode ser observado na Figura 10, no décimo nono dia de experimento houve um pico nos valores obtidos de respiração microbiana.



**Figura 10:** Dados da respiração microbiana ao longo dos 51 dias de experimento nas profundidades de 0 a 5 cm (A) e 5 a 10 cm (B).

Sendo assim, a análise de variância para os dados de RM aos 19 dias de experimento, mostra que houve diferença estatística quando se associa culturas e profundidades, com  $p < 0,05$ , conforme dados da Tabela 10.

**Tabela 10:** Análise de variância realizada para a característica respiração microbiana (RM) aos 19 dias de experimento

	GL	Sq	QM	F	P-valor
<b>Culturas</b>	3	284741	94914	0,973	0,452
<b>Erro A</b>	8	780255	97532		
<b>Profundidade</b>	1	37216	37216	0,103	0,779
<b>Erro B</b>	2	725971	362986		
<b>Culturas x Profundidade</b>	3	443360	147787	5,296	0,0401*
<b>Erro C</b>	6	167423	27904		
<b>CV%</b>					17,52%

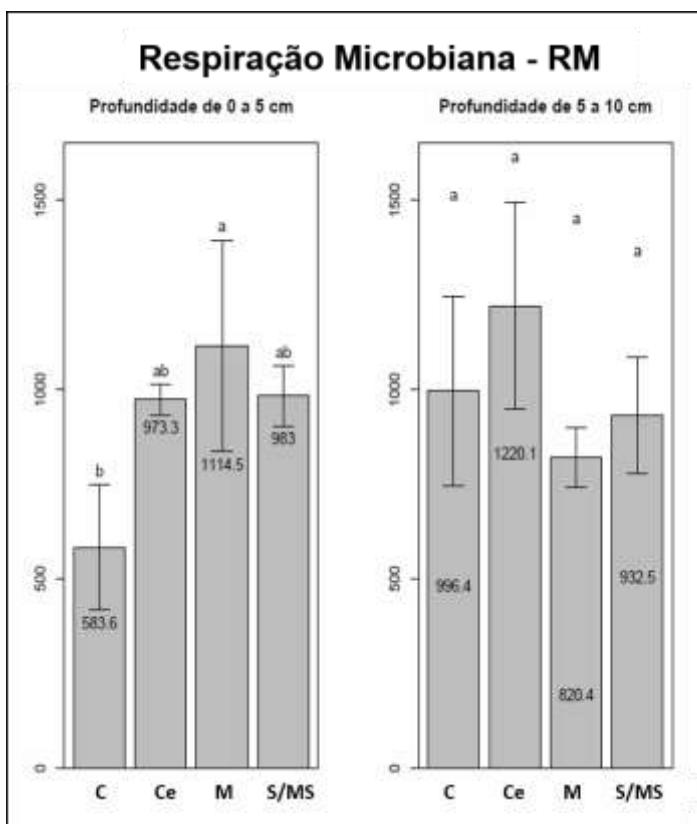
**GL:** graus de liberdade; **Sq:** soma dos quadrados; **QM:** quadrado médio; **CV:** coeficiente de variação; \* significativo a 5%.

Os valores de RM apresentaram grande variação ficando em média entre 583,56 a 1220,00 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> de solo. Os valores de RM encontrados na literatura são bastante variados. Em 17 dias de incubação, Matsuoka et al. (2003) obtiveram valores de RM que variaram de 152 a 306 mgC-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, em solo cultivado com videira. Já, Saggari et al. (2001), em solo com cultivo de pastagens observaram valores de respiração microbiana que variaram de 860 a 2.042 mgC-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo em variados períodos de cultivo.

O teste comparativo entre as médias dos tratamentos mostra que os tratamentos milho silagem e soja/milho safrinha não diferiram estatisticamente entre si e na comparação com o solo sob cerrado nativo na profundidade 0 a 5 cm. Já os tratamentos representados pelo solo sob cultivo de cana-de-açúcar e solo sob tratamento milho silagem nessa mesma profundidade diferiram estatisticamente entre si, sendo que a RM para cana-de-açúcar foi de 583,60 mgC-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>, valor menor se comparado com o solo sob cultivo de milho silagem que foi de 1114,50 mgC-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>. Tais resultados podem ser visualizados na Figura 11. Já na profundidade de 5 a 10 cm, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

As médias gerais para a característica respiração microbiana foram 913,60 e

992,35 mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> para as profundidades de 0-5cm e 5-10cm respectivamente.



**Figura 11:** Teste comparativo entre as médias dos tratamentos (Tukey) para respiração microbiana (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> solo) aos 19 dias. Médias seguidas de mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. **C:** cana-de-açúcar; **Ce:** cerrado; **M:** milho silagem; **S/MS:** soja/milho safrinha.

O comportamento da atividade respiratória foi similar ao verificado na biomassa microbiana. Isso por que o Cerrado foi o que obteve maior CBM possuindo também maior RM na profundidade de 5 a 10cm, e ficando muito próximo do maior valor de RM (MS/S com 1114,50 mgC-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>), na profundidade de 0 a 5 cm, não havendo diferença estatística entre ambos. E ainda, o menor valor de RM na profundidade de 0 a 5 cm foi o do solo sob cultivo de cana-de-açúcar, assim como a CBM para esse mesmo tratamento.

Então, mediante a análise de emissão de CO<sub>2</sub> devido a respiração da microbiota do solo, foi possível identificar que há diferenças entre os sistemas de cultivo em

avaliação. O solo que envolve monocultura de cana-de-açúcar sob o plantio convencional que promove intensa movimentação do solo obteve índices de RM menores se comparados com os sistemas de rotação de culturas associado às técnicas de manejo de solo como o SPD e a integração lavoura-pecuária, como é o caso do tratamento soja/milho safrinha, bem como na gleba sob uso com milho para silagem, e ainda menores se comparado ao solo sob vegetação nativa. Estes resultados corroboram com a constatação de Lisboa et al. (2012) de que solos cultivados sob intenso revolvimento com sistema de plantio convencional apresentaram menores taxas de RM se comparados aos solos cultivados sob sistema de plantio direto e mata nativa. Isso deve-se ao fato de que solos submetidos ao uso sob sistemas coservacionistas de manejo apresentam menor amplitude térmica em razão da cobertura do solo, manutenção da umidade na camada superficial e maior aporte de C, o que resulta em maior atividade microbiana (BRADFORD; PETERSON 2000).

Lopes et al. (2013), através de seu estudo, estabeleceram valores de referência para alguns atributos microbiológicos de qualidade de solo para classe de Latossolo Vermelho distrófico como CBM e RM em função do CO. Segundo esse estudo, valores de CO acima de 18,20 g kg<sup>-1</sup> são considerados adequados em profundidade até 10 cm, e para garantir uma boa qualidade de solo, os valores de RM precisam estar acima de 100,00 mgC-CO<sub>2</sub>kg<sup>-1</sup>. Portanto, utilizando os valores de referência estabelecidos por Lopes et al. (2013), os valores de RM obtidos com esse estudo estão acima de 100,00 mgC-CO<sub>2</sub> g kg<sup>-1</sup>, portanto dentro do indicado para obtenção de uma qualidade de solo adequada.

Outro índice calculado foi o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), que mede a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana. O  $qCO_2$  é um quociente que tem sido considerado como indicador de estresse microbiano, ou seja, baixo  $qCO_2$  reflete um ambiente mais estável, diferente de valores elevados que representam ecossistemas submetidos às situações de estresse, como por exemplo, adição de fertilizantes e agrotóxicos.

A análise estatística para quociente metabólico ( $qCO_2$ ) mostrou que não há diferença significativa entre todos tratamentos, como pode ser observado na Tabela 11.

**Tabela 11:** Análise de variância realizada para a característica quociente metabólico ( $qCO_2$ )

	<b>GL</b>	<b>Sq</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>P-valor</b>
<b>Culturas</b>	3	0,2017	0,06723	1,508	0,285
<b>Erro A</b>	8	0,3567	0,04458		
<b>Profundidade</b>	1	0,1568	0,1568	0,979	0,427
<b>Erro B</b>	2	0,3203	0,1601		
<b>Culturas x Profundidade</b>	3	0,0451	0,01505	0,248	0,86
<b>Erro C</b>	6	0,3641	0,06068		

**GL:** graus de liberdade; **Sq:** soma dos quadrados; **QM:** quadrado médio.

Outros trabalhos também não encontraram efeito significativo de variados sistemas de manejo sobre o quociente metabólico (MERCANTE et al. 2000, CASTILLO; JOERGENSEN 2001, D´ANDREA et al. 2002).

Segundo Moreira; Siqueira (2006), somente de 15 a 30% da biomassa microbiana no solo é catabolicamente ativa, o restante dos microrganismos é encontrado em formas inativas ou latentes, portanto com baixa atividade metabólica. E essa situação pode acarretar em dificuldades na interpretação do  $qCO_2$ , já que no cálculo é considerado o teor total de carbono da biomassa microbiana no solo. Portanto, o acompanhamento da

biomassa microbiana e da respiração ao longo do tempo talvez seja ainda a melhor forma de diminuir problemas de interpretação.

Mas observando os valores de  $qCO_2$  nos tratamentos pode-se observar que há uma tendência que mostra que os menores valores estão no solo sob mata nativa em ambas as profundidades. Isso pode indicar que o solo sob condições naturais continua proporcionando o ambiente mais estável para a atuação dos microrganismos de solo quando comparado com os sistemas cultivados com diferentes culturas com potencial agroenergético. Além disso, quanto maiores os índices de  $qCO_2$  maiores as perdas de carbono no sistema na forma de  $CO_2$  por unidade de carbono microbiano. E como era esperado, os maiores valores de  $qCO_2$  foram encontrados no solo sob cultivo de cana-de-açúcar que representa monocultivo sob preparo convencional do solo e sem rotação de culturas durante o período avaliado. Neste caso, a maior emissão de  $CO_2$  nesse tratamento associado com baixos índices de  $CO$ , se comparado ao obtidos nas demais culturas, poderá contribuir para decréscimos futuros nos estoques de matéria orgânica do solo e consequente diminuição da qualidade desse solo em termos de produtividade. E ainda, essa maior perda de C, provavelmente facilitada pela forma de manejo da cultura resulta na maior emissão de  $CO_2$  para o meio ambiente, o que, a longo prazo, poderá contribuir para efeitos ambientais como efeito estufa e aquecimento global.



## 7. CONCLUSÕES

- O cultivo de espécies com potencial bioenergético nas diferentes situações estudadas reduziu o carbono da biomassa microbiana e a respiração microbiana em relação às áreas de cerrado nativo;
- De acordo com as doses estabelecidas por Lopes et al. (2013), os valores de COS obtidos nos cultivares foram classificados como adequados. Os valores de CBM em relação ao CO segundo Lopes et al. (2013), deveriam ser maiores que 405 mgC kg<sup>-1</sup>, mas os valores obtidos foram referentes ao COS baixo. Já os valores de RM para os cultivares foram condizentes com o COS obtido. E para a área de cerrado nativo, os valores obtidos de COS, CBM e RM foram superiores aos parâmetros médios referenciados para esta vegetação, segundo Lopes et al. (2013).
- A atividade microbiana foi mais diferenciada entre os diferentes tratamentos quando foi analisada a camada mais superficial do solo;
- O carbono da biomassa microbiana e a respiração microbiana sofreram alterações em função do manejo adotado nas diferentes culturas, sendo que, o solo sob cultivo de cana-de-açúcar, em preparo convencional, sem rotação de culturas sofreu maior redução da atividade microbiana se comparado aos solos sob demais sistemas de culturas e de manejo;

- Para manter a qualidade do solo, é necessário adotar formas de cultivo mais conservacionistas que promovam o menor revolvimento deste e proporcionem o aporte de matéria orgânica no solo, adotando técnicas que mantenham a umidade do solo e utilizando como fonte de diversidade microbiana a rotação de culturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (Eds). **Method of analysis**. 2.ed. Part 2. Madison: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America. p. 831-871, 1982.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) 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, n.3, p.393-395, 1993.

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

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, v.53, p. 215-230, 2000.

BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.715- 724, 2005.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica em função da material orgânica. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas L.P.; Camargo, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18, 2008.

BENDING, G.D.; TURNER, M.K.; RAYNS, F.; MARX, M.C.; WOOD, M. Microbial and biochemical soil quality indicators and their potential for differentiating areas under contrasting agricultural management regimes. **Soil Biology and Biochemistry**, v.36, p. 1785-1792, 2004.

BRADFORD, J.M.; PETERSON, G.A. Conservation tillage. In: SUMNER, M.E. (Eds). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, p.247-266, 2000.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam Brasil. **Folha SB/SC 22** Araguaia/Tocantins; Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 1974.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; MOREIRA, F.M. de S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.631-637, 2009.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A. (Eds) **Sustainable management of soil organic**. Wallingford: CAB International, p.9-22, 2001.

CARVALHO, Y. **Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional, na região de Carambei, PR**. 1997. 84f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

CASTILLO, X.; JOERGENSEN, R.G. Impact of ecological and conventional arable management systems on chemical and biological soil quality indices in Nicaragua. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.33, n. 12-13, p. 1591-1597, 2001.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381- 1396, 2007.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CHEN, J.; YU, Z.; OUYANG, J.; van MENSVOORT, M.E.F. Factors affecting soil quality changes in the North China Plain: A case study of Quzhou County. **Agricultural Systems**, v.91, p.171- 188, 2006.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 156f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CHRISTENSEN, B.T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Eds) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: Lewis Publishers, p.97-165, 1996.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores de qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1047-1054, 2002.

DICK R.P.; BREACKWELL D.P.; TURCO, R.F. Soil enzymes activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN J.W.; JONES A.J. (Eds). **Methods for assessing soil qualits**. Madisson: SSSA, p. 247-71, (SSSA Special Publication, 49), 1996.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p.1-20. (Special, 35), 1994.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, CD-ROM. 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, DF: SCT-EMBRAPA, 2013. 353p.

ESPINDOLA, J.A.A.; ALMEIDA, D.L.; GERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agrossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p.104-113, 2001.

FAGERIA, N.K. Soil quality vs. Environmentally-based agricultural management practices. **Communications in soil science and plant analyses**, v.33, p.2301-2329, 2002.

FIALHO, J.S.; GOMES, V.F.F.; OLIVEIRA, T.S.; SILVA JÚNIOR, J.M.T. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi- CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.3, p.250-257, 2006.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.637-645, 2007.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.92, p.18-29, 2007.

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

GAMA-RODRIGUES, E.M.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, Carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.893-901, 2005.

GRISI, B.M. Biomassa e atividade de microrganismos do solo: revisão metodológica. **Revista Nordestina de Biologia**, João Pessoa, v. 10, n.1, p. 1-22, 1995.

HARBERERN, J. A soil health index. **Journal of Soil and Water Conservation**, 47, (Editorial) Horn, 1992.

HORWATH, W.R.; PAUL, E.A.; HARRIS, D.; NORTON, J.; JAGGER, L.; HORTON, K.A. Defining a realistic control for the chloroform fumigation-incubation method using microscopic counting and <sup>14</sup>C-substrates. **Canadian Journal of Soil Science**, v.76, p. 459-467, 1996.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L.; FEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin American between 1850 and 1985. II Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. **Forest Ecology and Management**, v.38, p.173-199, 1991.

HUFFMAN, E.; EILERS, R.G.; PADBURY, G.; WALL, G.; MacDONALD, B. Canadian Agri-Environmental indicators related to land quality: soil cover, soil erosion, soil salinity and risk of water contamination. In: Congresso of Soil Science. 16, Montpellier, 1998. **Anais**. Montpellier, Rural Development Sector – World Bank. CD ROM, 1998.

IBGE, 2013. Disponível em: < <http://cod.ibge.gov.br/2369J>>. Acesso em 21 jun. 2014.

INGELS, C.A.; SCOW, K.M.; WHISSON, D.A.; DRENOVSKY, R.E. Effects of cover crops on grapevine, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v.56, n.1, p. 19-29, 2005.

IWATA, B.F.; LEITE, L.F.C.; CAMPOS, L.P.; ARAUJO, A.S.F.; COSTA, C.N. Dinâmica Sazonal do Carbono orgânico total e da Biomassa Microbiana em Sistemas Agroflorestais e Agricultura de Corte e Queima no Cerrado Piauiense. In: 29.Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 13. Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 11. Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 8. Reunião Brasileira de Biologia do Solo, Guarapari-ES, 2010. **Resumos Expandidos**. Guarapari: SBCS, 2010.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford: v. 8, p. 209-213, 1976.

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

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V.A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 11, n.3, p.193-199, 1976.

KARLEN D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S.; JORDHAL, J.L. Long-term tillage effects on soil quality. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam: v.32, n.4, 51-96p, 1994.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America. J.** v. 61, p.4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: Current concepts and applications. **Advances in Agronomy**, v.74, p.1-40, 2001.

KENNEDY A.C.; PAPENDICK R.I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.50, n.3, p. 243-48, 1995.



LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p.37-51. (Special, 35). 1994.

LATHWELL, D.J.; BOULDIN, D.R. Soil organic matter and soil nitrogen behaviour in cropped soils. **Journal of Tropical Agriculture**, v.58, p.341-348, 1981.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.821-832, 2003.

LISBOA, B.B.; VARGAS, L.K.; SILVEIRA, A.O.; MARTINS, A.F.; SELBACH, P.A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 45-55, 2012.

LOGSDON, S.D.; KARLEN, D.L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 78, p.143-149, 2004.

LOPES, A. A.C.; SOUSA, D.M.G.; CHAER, G.M.; JUNIOR, F.B.R.; GOEDERT, W.J.; MENDES, I.C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society and America Journal**. v. 77, p.461-472, 2013.

MATSUOKA M. **Atributos biológicos de solos cultivados com videira na região da serra gaúcha**. 2006. 173f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 425-433, 2003.

MELLONI, R.; BELLEZE, G.; PINTO, A.M.S.; DIAS, L.B.P.; SILVE, E.M.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; ALCÂNTARA, E.N. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p.66-75, 2012.

MENDES, I.C.; REIS-JUNIOR, F.B.; PEREIRA-NETO, J.V. Uso de indicadores biológicos e bioquímicos para avaliar a qualidade de solos de cerrado sob plantio direto e convencional. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 25. Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 9. Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 7. Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 4, Rio de Janeiro, 2002. **Resumos Expandidos**. Rio de Janeiro: SBCS, CD-ROM, 2002.

MENEZES, C.E.G.; PEREIRA, M.G.; DOS ANJOS, L.H.C.; SOUZA, J.M.P.F.; TOLEDO, L.O. Carbono da biomassa microbiana em solos no município de Pinheiral/RJ. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 23. Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 7. Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 5. Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 2., Lavras, 1998. **Resumos Expandidos**. Lavras: UFLA: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Sociedade Brasileira de Microbiologia. 1998. 863 p.

MERCANTE, F.M.; FABRICIO, A.C.; GUIMARÃES, J.B.R. **Biomassa microbiana como parâmetro indicador da qualidade do solo sob diferentes sistemas e manejo. Embrapa Agropecuária Oeste**. Comunicado Técnico, 27. Dourados: Embrapa Agropecuária do Oeste, 2000. 5p.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica dos solos**. Porto Alegre: Gênisis. p. 1-9, 1999.

Ministério do Meio Ambiente, 2014. Disponível em <  
<http://www.mma.gov.br/clima/protocolo-de-quioto>> Acesso em 21 jun. 2014.

MONOKROUSOS, N.; PAPTAEODOROU, E.M.; DIAMANTOPOULOS, J.D.; STAMOU, G.P. Soil quality variables in organically and conventionally cultivated field sites. **Soil Biology and Biochemistry**, v.38, p.1282-1289, 2006.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA. 2 ed. 2006. 729p.

NETO, P.F.; FERNANDES, S.A.P.; JAHNEL, M.C. Microbiota do solo como indicadora da poluição do solo e do ambiente. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (Eds.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, p.259-274, 2007.

NOBRE, C.A.; GASH, J. Desmatamento muda clima da Amazônia. **Ciência Hoje**, v.22, p.33-42, 1997.

PANKHURST, C.E. Biological indicators of soil health and sustainable productivity. In: GREENLAND, D.J.; SZABOLCS, I. (Eds.) Soil resilience and sustainable land use. **Commonwealth Agricultural Bureau International**. Wallingford, p.331-351, 1994.

PARISI, V.; MENTA, C.; GARDI, C.; JACOMINI, C.; MOZZANICA, E. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 105, p.323-333, 2005.

PARR, J.F.; PAPENDICK, S.B.; HORNICK, S.B.; MEYER, R.E. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.7, p.5-11, 1992.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. 2014. R **Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2014.

RESCK, D.V.S.; PEREIRA, J.; SILVA, J.E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos cerrados. (Documentos, 36)**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC., 1991. 22p.

RIBEIRO, K.A.; OLIVIERA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; SOUSA, H.H.F. Qualidade do solo na cultura do cajueiro anão precoce cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 341-351, 2007.

RIBEIRO, P.H.; SANTOS, J.V.V.M.; COSER, S.M.; NOGUEIRA, N.O.; MARTINS, C.A.S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**. v.6, n.1, p. 43 – 50, 2011.

RICE, C.W.; MOORMAN, T.B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.) **Methods for assessing soil quality**. Madison: SSSA, p.203-215. (Special, 49), 1996.

SAGGAR, S.; YEATES, G.W.; SHEPHERD, T.G. Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gkeyic Luvisol soils in New Zeland. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 58, n. 1-2, p. 55-68, 2001.

SANTANA, M.S.; MENDES, I.C. Atividade enzimática em áreas de Cerradão e Mata de Galeria na região do Distrito Federal. In: Encontro de jovens talentos da Embrapa Cerrados: construindo o conhecimento futuro, 1. Planaltina, 2000. **Resumos...** Planaltina: Embrapa-Cerrados, 2000. 28 p.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J.C. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, p. 255- 262, 2003.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Mapas e atlas: base de dados geográficos**. Palmas: SEPLAN, 2012.

SEYBOLD, C.A.; MAUSBACH, M.J.; KARLEN, D.L.; ROGERS, H.H. Quantification of soil quality. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; FOLLET, R.F.; STEWART, B.A. (Eds.).

**Soil processes and the carbon cycle.** Florida: CRC Press LLC/Boca Raton, p.387-404, 1997.

SILVA, F.M. **Avaliação e seleção de clones de batata doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam) quanto à produtividade e capacidade de bioconversão de amido em etanol.** 2010. 60f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2010.

SILVA, A.P.; BABUJIA, L.C.; MATSUMOTO, L.S.; GUIMARÃES, M.F.; HUNGRIA, M. Microbial diversity under diferente soil tillage and crop rotation systems in an oxisol of Southern Brazil. **The Open Agriculture Journal**, v.7, Suppl1-M6, p.40-47, 2013.

SILVA, A.P.; FRANCHINI, J.C.; BABUJIA, L.C.; SOUZA, R.A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under diferente soil and crop managements in short-to long-term experiments performed in Brazil. **Field Crops Research**, v.119, p.20-26, 2010.

SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental.** Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 317p.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOTZKY, G. (Eds.). **Soil Biochemistry.** New York: Marcel Dekker, v.6, p.357-396, 1990.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M. Influência de sistemas de rotação de culturas nos atributos físicos do solo. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 15p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

TOTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos com indicadores de qualidade do solo. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2001, v.2, p.195-276, 2002.

TURCO, R.F.; KENNEDU, A.C.; JAWSON, M.D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W. et al (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA: ASA, P. 73-90. (SSSA Special Publication, 35). 1994.

USDA-NRCS,2008. Disponível em <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/programs/farmland/archived/?cid=stelpdb1245079>>. Acesso em maio 2014.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.35-42, 2000.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VEZZANI, F. M.; CONCEIÇÃO, P. C.; MELLO, N. A.; DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole. p. 113-136. 2008.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

WARDLE, D.A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: a global scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.30, n.13, p.1627-1637, 1998.

## APÊNDICE

**Apêndice 1.** Dados obtidos a partir dos experimentos de titulação para obtenção dos valores para cálculo dos atributos microbiológicos de qualidade do solo como: CBM, RM, TRM, qM, qCO<sub>2</sub>.

Tipo de uso do solo na safra 2013/2014	profundidade amostrada (cm)	repetição	CBM	RM	d	TRM	qCO <sub>2</sub>	MO	CO	CBM/CO	qM
			mg C/ kg solo seco	mg C-CO <sub>2</sub> / kg solo seco	dias de incubação	mg C-CO <sub>2</sub> / kg solo seco/dia	mg C-CO <sub>2</sub> / mg Cmic/dia	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg/g	%
MS/S	0-5	R1	243,3576429	1224,34932	51	24,00684942	0,10	42,4	24,59	9,90	0,99
MS/S	0-5	R2	178,4515739	3440,347106	51	67,45778639	0,38	39,06	22,66	7,88	0,79
MS/S	0-5	R3	279,5094938	1481,421006	51	29,0474707	0,10	43,51	25,24	11,07	1,11
Média			233,7729086	2048,705811	51	40,17070217	0,193529591	40,92	23,73	9,62	0,96
MS/S	5-10	R1	110,8012933	1644,332714	51	32,24181791	0,29	40,17	23,3	4,76	0,48
MS/S	5-10	R2	140,8812621	1692,658205	51	33,18937657	0,24	57,16	33,16	4,25	0,42
MS/S	5-10	R3	108,1453841	1149,120978	51	22,53178389	0,21	39,06	22,66	4,77	0,48
Média			119,9426465	1495,370632	51	29,32099279	0,24497298	45,46	26,37	4,59	0,46
ILP - M/P/S	0-5	R1	234,2151322	1244,775559	51	24,4073639	0,10	61,44	35,64	6,57	0,66
ILP - M/P/S	0-5	R2	239,6242357	2146,519262	51	42,08861298	0,18	62,24	36,1	6,64	0,66
ILP - M/P/S	0-5	R3	266,0447374	1634,368695	51	32,046445	0,12	56,52	32,78	8,12	0,81
Média			246,6280351	1675,221172	51	32,84747396	0,133436163	60,07	34,84	7,11	0,71
ILP - M/P/S	5-10	R1	142,5226078	2140,04265	51	41,96162059	0,29	45,1	26,16	5,45	0,54
ILP - M/P/S	5-10	R2	160,8477971	837,74539	51	16,4263802	0,10	41,6	24,13	6,67	0,67
ILP - M/P/S	5-10	R3	86,69375739	2633,759782	51	51,64234868	0,60	40,33	23,39	3,71	0,37
Média			130,0213874	1870,515941	51	36,67678315	0,330743868	42,34	24,56	5,27	0,53
C	0-5	R1	134,2954986	488,0083294	51	9,568790773	0,07	39,06	22,66	5,93	0,59
C	0-5	R2	44,99026244	1384,271822	51	27,14258475	0,60	37,32	21,65	2,08	0,21
C	0-5	R3	122,3373173	542,312232	51	10,63357318	0,09	37,95	22,01	5,56	0,56
Média			100,5410261	804,8641279	51	15,78164957	0,253823657	38,11	22,11	4,52	0,45
C	5-10	R1	57,21339607	3483,690588	51	68,30765859	1,19	36,84	21,37	2,68	0,27
C	5-10	R2	82,0129331	1084,354856	51	21,26185992	0,26	36,68	21,28	3,85	0,39
C	5-10	R3	143,9424804	1189,475254	51	23,3230442	0,16	39,38	22,84	6,30	0,63
Média			94,3896032	1919,173566	51	37,63085424	0,538396872	37,63	21,83	4,28	0,43
Ce	0-5	R1	342,2137735	1790,305589	51	35,10403116	0,10	54,62	31,68	10,80	1,08
Ce	0-5	R2	294,0712578	840,7345957	51	16,48499207	0,06	38,59	22,38	13,14	1,31
Ce	0-5	R3	285,2422313	1449,536146	51	28,42227737	0,10	29,54	17,13	16,65	1,67
Média			307,1757542	1360,19211	51	26,67043353	0,08609322	40,92	23,73	13,53	1,35
Ce	5-10	R1	164,8057771	2490,776112	51	48,8387473	0,30	38,90	22,56	7,31	0,73
Ce	5-10	R2	259,5771834	883,0816757	51	17,31532697	0,07	43,51	25,24	10,28	1,03
Ce	5-10	R3	231,9270312	2705,500718	51	53,04903369	0,23	36,84	21,37	10,85	1,09
Média			218,7699972	2026,452835	51	39,73436932	0,197259564	39,75	23,06	9,48	0,95

MS/S: lavoura milho silagem/soja; ILP - M/P/S: ILP milho safrinha/piatã/soja; C: lavoura cana-de-açúcar; Ce: mata nativa cerrado



