

MARIA ELISA PARAGUASSU SOARES

ATRIBUTOS DA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO SOB SISTEMAS DE USO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Alberto Carvalho Filho

Coorientadores: Renato Adriane Alves Ruas
Everaldo Antônio Lopes

**RIO PARANAÍBA – MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade
Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba**

T

Soares, Maria Elisa Paraguassu, 1994-

S676a Atributos da qualidade de um latossolo sob sistemas de uso /
2021 Maria Elisa Paraguassu Soares. - Rio Paranaíba, MG, 2021.

65 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Alberto Carvalho Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Qualidade do solo. 2. Atributos físicos. 3. Atributos Químicos.
4. Atributos biológicos. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de
Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal). II.
Título.

631.4

MARIA ELISA PARAGUASSU SOARES

ATRIBUTOS DA QUALIDADE DE UM LATOSSOLO SOB SISTEMAS DE USO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2021

Assentimento:



Maria Elisa Paraguassu Soares
Autora



Alberto Carvalho Filho
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

BIOGRAFIA

Maria Elisa Paraguassu Soares, filha de Adelino Soares e Auxiliadora de Fátima Paraguassu Soares, nasceu em Carmo do Paranaíba-MG no dia 16 de fevereiro de 1994.

Em 2011 concluiu o Ensino Médio no Colégio Leonardo da Vinci, na cidade de Patos de Minas-MG. Em 2015, iniciou o Curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. Nesta, foi bolsista de iniciação científica na área de Nutrição de Plantas. Foi membro bolsista SINP – Soluções Inteligentes em Nutrição de Plantas. Submeteu-se a defesa do Trabalho de Conclusão do Curso em junho de 2018 e concluiu a Graduação em Agronomia em março de 2019.

Em março de 2019, iniciou o curso de Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal na UFV-CRP, submetendo-se a defesa em fevereiro de 2021.

Em agosto de 2019, iniciou como prestadora de serviços para a FMC Agrícola, na região de Patos de Minas-MG, atuando até abril de 2020 como Assistente Técnica de Desenvolvimento de Mercado na cultura da soja. Posteriormente, iniciou como prestadora de serviços para a Agronelli Soluções, como Assistente Técnica Comercial e de Pesquisa, com atuação no Estado de Minas Gerais nas culturas da cana de açúcar, de pastagem e de cereais no período de julho de 2020 até janeiro de 2021. Ainda na empresa Agronelli Soluções passou a atuar como Supervisora de Vendas na área de pastagens no Triângulo Mineiro e também em parte dos Estados do Mato Grosso do Sul, Paraná e Goiás, em janeiro de 2021.

RESUMO

SOARES, Maria Elisa Paraguassu, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2021. **Atributos da qualidade de um latossolo sob sistemas de uso.** Orientador: Alberto Carvalho Filho. Coorientadores: Renato Adriane Alves Ruas e Everaldo Antônio Lopes.

Os indicadores de qualidade do solo são atributos quantitativos ou qualitativos de processos ou atividades ocorridas num dado ecossistema. Este estudo observacional foi realizado no município de Rio Paranaíba – MG. Foram selecionadas cinco formas de usos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico. Cada sistema de uso foi considerado sendo um tratamento, sendo eles: área sob pastagem; área sob mata nativa do tipo cerrado; área sob cafeicultura; área cultivada com cereais, com plantio direto e irrigação em malha; e área cultivo intensivo de hortaliças, cereais e braquiária, sob pivô. O objetivo foi avaliar as alterações de atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico sob sistemas de uso e manejo do solo, tendo como referência a vegetação nativa. Os atributos químicos, físicos do solo e a matéria orgânica são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo, tendo como referência a vegetação nativa, o que permite o uso desses atributos como pedoindicadores ambientais da qualidade física, química e biológica do solo.

Palavras-chave: Qualidade do solo. Atributos biológicos. Latossolo.

ABSTRACT

SOARES, Maria Elisa Paraguassu, M.Sc., Universidade federal de Viçosa, February, 2021. **Atributos of the quality of a haplustox under use systems.** Advisor: Alberto Carvalho Filho. Co-Advisors: Renato Adriane Ruas and Everaldo Antônio Lopes.

Soil quality indicators are quantitative or qualitative attributes of processes or activities that occur in a given ecosystem. This observational study was carried out in Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brazil. Five forms of use of a Dystrophic Red Latosol were studied. Each use system was considered a treatment, namely: area under pasture; area under a native cerrado vegetation; area under coffee growing; area cultivated with cereals, with no-tillage and sprinkler network irrigation system; and intensive cultivation of vegetables, cereals, and brachiaria under central pivot system. The objective was to evaluate the changes in physical, chemical, and biological attributes of a Dystrophic Red Latosol under soil use and management systems using native cerrado vegetation as reference. The chemical, physical attributes of the soil and organic matter are strongly altered by the use and management of the soil in comparison to native vegetation, which allows the use of these attributes as environmental pedoindicators of the physical, chemical, and biological quality of the soil.

Keywords: Soil quality. Chemical attributes. Physical attributes. Biological attributes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	8
1.1. Hipótese.....	9
1.2. Objetivos Gerais.....	9
1.3. Referências	9
2. CAPTULO I - INDICADORES DA QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO ARGILOSO	111
2.1. Introdução	13
2.2. Material e Métodos.....	14
2.3. Resultados e Discussão	18
2.4. Conclusão.....	266
2.5. Referências	26
3. CAPÍTULO II – INDICADORES DA QUALIDADE QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO ARGILOSO	31
3.1. Introdução	33
3.2. Material e Métodos.....	34
3.3. Resultados e Discussão	366
3.4. Conclusão.....	40
3.5. Referências	41
4. CAPÍTULO III- INDICADORES DA QUALIDADE BIOLÓGICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO ARGILOSO	44
4.1. Introdução	46
4.2. Material e Métodos.....	47
4.3. Resultados e Discussão	50
4.4. Conclusão.....	54
4.5. Referências	54
5. CONCLUSÃO GERAL	577
6. ANEXOS.....	58

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os indicadores de qualidade do solo são atributos quantitativos ou qualitativos de processos ou atividades ocorridas num dado ecossistema (Karlen et al., 1997). Dessa forma, o solo é um dos pilares para a produção agrícola sustentável e seus atributos são influenciados pelas formas de usos e manejo aplicados, principalmente quando se utiliza de práticas que contribuem para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e a produtividade ao longo do tempo (Rodrigues et al., 2016).

A retirada da vegetação nativa para a instalação de áreas agricultáveis promove a remoção de sistemas biológicos complexos, multi estruturados, diversificados e estáveis (Canellas et al., 2003). Em consequência disso e conjuntamente a intensificação do uso dos solos, predispõe-se a diminuição da fertilidade e o aumento de sua degradação (Freitas et al., 2017). Além disso, a matéria orgânica é componente importante do solo, pois influencia direta e indiretamente na fertilidade, na estrutura, além de atuar nos atributos químicos e físicos como pH, CTC, densidade do solo, porosidade e estabilidade de agregados (Nascimento et al., 2009). Ela também influencia no estoque de carbono, na biomassa microbiana e na respiração microbiana, que são indicadores biológicos para o manejo e a qualidade do solo (Mbuthia et al., 2015).

Os atributos químicos dos solos são modificados principalmente na camada arável, pois nela são adicionados corretivos, fertilizantes e realizadas as operações de preparo de solo (Freitas et al., 2015). A avaliação e quantificação de nutrientes apresenta as características químicas dos solos sob diversos sistemas de uso, a partir disso é possível traçar estratégias para manejar de forma adequada e nortear a tomada de decisão nas lavouras agrícolas (Resende e Coelho, 2017).

Os atributos físicos do solo são alterados de acordo com o manejo aplicado, piorando com o excessivo uso de equipamentos e tráfego de máquinas empregadas no preparo convencional do solo (Oliveira et al., 2015). O uso do solo de maneira não conservacionista proporciona efeitos negativos quanto aos atributos físicos, promovendo compactação em algumas camadas, baixa infiltração de água, baixa aeração e baixa permeabilidade do solo (Fontana et al., 2016). A deterioração dessas propriedades é responsável pela diminuição da qualidade estrutural e aumento da erosão hídrica (Bertol et al., 2001). Dessa forma, os solos cultivados com sistema convencional ao longo do tempo tendem a perder sua estrutura original (Tisdall, 1980; Bertol et al., 2001).

Estudos das alterações das propriedades do solo em função da intervenção antrópica nos ecossistemas naturais são importantes para monitorar a conservação ambiental, permitindo caracterizar a situação atual e prever situações futuras (Cardoso et al., 2011). Diante disso, pode-se utilizar como referência a vegetação nativa inferindo-se sobre os atributos químicos, físicos e a matéria orgânica do solo, que são significativamente alterados pelo manejo do solo e permitem o uso desses atributos como pedoindicadores ambientais da qualidade do solo (Freitas et al., 2017).

1.2. HIPÓTESE

Há alteração e comportamento dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, utilizados como pedoindicadores ambientais de qualidade do solo por influência do seu uso e manejo, utilizando-se como referência um solo sob vegetação nativa.

1.3. OBJETIVOS GERAIS

Avaliar as alterações de atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico sob sistemas de uso do solo.

1.4. REFERÊNCIAS

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. AND BATISTELA, O. 2001. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.D.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no pantanal Sul-Mato-Grossense. Embrapa Pantanal-Artigo em periódico indexado (ALICE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 613-622, 2011.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I.A.; SILVA, L.S.; FRARE, J.C.V.; FILLA, V.A.; GOMES, R.P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, p. 1-2, 2017.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J.C.; OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; OLIVEIRA, V.M.R. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.; BALIEIRO, F.C.; MOURA, T.P.A.; MENEZES, A.R.; SANTANA, C.I. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, 2016.

MBUTHIA, L.W.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; DEBRUYN, J.; SCHAEFFER, S.; TYLER, D.; ODOI, E.; EASH, N. Cultivo a longo prazo, cobertura vegetal e efeitos da fertilização na estrutura da comunidade microbiana, atividade: implicações para a qualidade do solo. **Biologia do Solo e Bioquímica**, v. 89, p. 24-34, 2015.

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. **Soil Science Society America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

NASCIMENTO, P.C.; BAYER, C.; SILVA NETTO, L.F.; DA; VIAN, A.C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V.R.M.; MARCOLIN, É. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1821-1827, 2009.

OLIVEIRA, I.A.; CAMPOS, M.C.C.; AQUINO, R.E.; MARQUES JÚNIOR, J.; FREITAS, L.; SOUZA, Z.M. Semivariograma escalonado no planejamento amostral da resistência à penetração e umidade de solo com cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 4, p. 287-296, 2015.

RESENDE, A.V.; COELHO, A.M. Amostragem para o mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute-IPNI**. (Informações Agronômicas nº 159), 2017.

RODRIGUES, P.G.; RUIVO, M.D.L.P.; PICCININ, J.L.; JARDIM, M.A.G. the contribution of soil chemical attributes growth vegetative development of paricá in different cultivated systems. **Ciência Florestal**, n. 1, p. 59-68, 2016.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v. 18, p. 415-422, 1980.

2. CAPTULO I - INDICADORES DA QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO ARGILOSO

Resumo

Com o aumento considerável da densidade demográfica mundial, a expansão das áreas agricultáveis como no Cerrado brasileiro tem sofrido intensa ação antropogênica, proporcionando severas alterações nos solos cultivados. O objetivo neste trabalho é avaliar como o uso do solo altera atributos de qualidade física de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, comparando com solo de vegetação nativa de cerrado. O estudo observacional foi realizado no município de Rio Paranaíba – MG, o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições e cinco tratamentos, sendo eles 5 sistemas de uso do solo: T1 – Pastagem, T2 – Mata nativa sob vegetação de cerrado, que servirá de testemunha para a comparação com os ambientes antrópicos, T3 – Área cultivada com café há 27 anos, T4 – Área com irrigação tipo malha, com plantio direto em sucessão de soja, feijão e milho há 4 anos e 6 meses, desde a implantação foi feita uma subsolagem há 2 anos, T5 – Área sob pivô há 22 anos, utilizada para cultivo de hortaliças, cereais e braquiária com manejo intensivo do solo realizando subsolagem, gradagem e emprego de enxada rotativa. Houve alteração na qualidade de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico sob diversas formas de uso e manejo quando comparados com o de vegetação nativa de cerrado. Os sistemas de uso com pastagem, pivô, café e na área de cereais quando comparados com sistema de vegetação típica do cerrado na profundidade de 20 cm apresentaram menores porcentagens de argila. Os atributos físicos densidade, porosidade total, macroporosidade do solo do sistema de plantio direto apresentaram semelhança ao do sistema de mata nativa, demonstrando menores alterações na qualidade desses atributos quanto ao uso e manejo do solo. O atributo resistência mecânica do solo a penetração dos demais sistemas como café, pastagem, pivô e cereais em plantio direto sofreu alterações negativas quanto qualidade do solo se comparados com a mata nativa. O diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico e o índice de sensibilidade dos tratamentos demonstraram boa estabilidade de agregados quando comparados com o sistema de mata nativa, assim não houve alterações na qualidade desses atributos.

Palavras chaves: Densidade do solo. Porosidade do solo. Agregados do solo.

2. CHAPTER I – INDICATORS OF THE PHYSICAL QUALITY OF RED YELLOW DYSTROPHIC RED DYLOSOL

Abstract

With the considerable increase in world population density, the expansion of agricultural areas as in the Brazilian Cerrado has undergone intense anthropogenic action, providing severe changes in cultivated soils. The objective of this work is to evaluate how the use of the soil alters attributes of physical quality of a Haplustox, comparing it with soil of native vegetation. This observational study was carried out in Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brazil. The experimental design was completely randomized in a split plot scheme with four replications and five treatments of which are land use systems: T1 - Pasture, T2 - Native forest under cerrado vegetation, which will serve as a witness for comparison with anthropic environments, T3 - Area cultivated with coffee for 27 years, T4 - Area with mesh irrigation, with no-tillage in succession of soybeans, beans and corn for 4 years and 6 months, since the implantation a subsoiling was done 2 years ago, T5 - Area under pivot 22 years ago, used for growing vegetables, cereals and brachiaria with intensive soil management, making subsoiling, harrowing and using a rotary hoe. There was a change in the quality of physical attributes of a Dystrophic Red Latosol under different forms of use and management when compared to that of native vegetation. The systems of use with pasture, pivot, coffee and in the area of cereals when compared to the typical vegetation system of the cerrado at a depth of 20 cm showed lower percentages of clay. The physical attributes density, total porosity, macroporosity of the soil of the no-tillage system showed similarity to that of the native forest system, showing minor changes in the quality of these attributes in terms of soil use and management. The attribute mechanical resistance of the soil to the penetration of other systems such as coffee, pasture, pivot and cereals under no-tillage underwent negative changes in terms of soil quality compared to native forest. The weighted average diameter, the geometric mean diameter and the sensitivity index of the treatments showed good aggregate stability when compared with the native forest system, so there were no changes in the quality of these attributes.

Keyword: Soil density. Soil porosity. Soil Aggregates.

2.1. INTRODUÇÃO

A ação antropogênica nos solos do Cerrado Brasileiro é significativa desde as últimas décadas devido ao aumento da densidade populacional e da expansão de áreas agricultáveis (Nappo et al., 2017). A maioria dos solos desse bioma são favoráveis para a agricultura devido aos seus atributos físicos, destacando-se a textura e estrutura (Fagundes et al., 2019). Dentro do bioma Cerrado, os Latossolos apresentam significativa importância, pois possuem elevado potencial produtivo para as culturas, geralmente de relevos planos que favorecem a mecanização e de ótima qualidade física, representando 45,75% dos solos desse bioma (Gomes et al., 2004). Esses solos apresentam altas taxas de intemperismo e de decomposição de matéria orgânica (Rangel & Silva, 2007; Ramos et al., 2019).

As propriedades físicas do solo são indicadores potenciais para a avaliação da qualidade do solo, que é constatada pelas alterações significativas de porosidade total, micro e macroporosidade, resistência mecânica do solo à penetração e densidade em decorrência dos sistemas de manejo e usos do solo (Cherubin et al., 2015). Um solo que apresenta boas características físicas permite a infiltração e disponibilidade de água às plantas, responde ao manejo e resiste à degradação, permite troca de gases da atmosfera com as raízes e possibilita o crescimento normal dos vegetais (Rocha et al., 2015). Entre os atributos que se deve avaliar para observação da ação antrópica ou qualidade do solo, há os relacionados com a relação massa/volume do solo, que engloba a análise de densidade e de tamanho de poros (Sales Rodrigues et al., 2016).

A resistência mecânica do solo à penetração também é um atributo eficaz, pois está diretamente relacionado com a resistência física que o solo impõe ao crescimento das raízes e isso influencia diretamente a produtividade da cultura (Toigo et al., 2015). A mensuração desse atributo é importante, pois tem relação direta com o efeito de máquinas e implementos e é afetada por outros atributos como a densidade, a porosidade total, microporosidade e macroporosidade e, consequentemente, capacidade de retenção de água no solo e quantidade de matéria orgânica. Além disso, o monitoramento e cuidados com esses atributos permite favorecer a qualidade em observância dos manejos a serem utilizados (Tavares Filho et al., 2012; Fernandes et al., 2016).

O uso intensivo do solo pode promover a compactação em subsuperfície (Oliveira et al., 2015). A compactação consiste no aumento da densidade do solo, diminuição do volume de macroporos, redução da infiltração de água e aumento da agregação de partículas (Soane & Van Ouwerkerk, 1994; Lopes et al., 2015). A densidade do solo é pouco influenciada pela

granulometria e minerais do solo, podendo avaliar o grau de compactação do solo e a resposta das culturas em diferentes tipos de solo, porque dificulta o crescimento das plantas (Silva et al., 1997; Neves Junior et al., 2013).

A estrutura do solo é o arranjo de partículas sólidas e seus respectivos espaços porosos em unidades denominadas agregados, os quais estão distribuídos em diferentes classes de tamanho como os mega-agregados ($>2,00$ mm), os macroagregados (0,25 a 2,00mm) e os microagregados ($<0,25$ mm) com distintas estabilidades (Sarker et al.,2018). A estrutura do solo é um arranjo espacial de sólidos e vazios em diferentes escalas, sem considerar a heterogeneidade química da fase sólida. Essa estrutura regula processos de retenção de água, trocas gasosas, dinâmica de matéria orgânica e nutrientes, penetração de raízes e é habitat para organismos do solo (Rabot et al., 2018).

O estado de agregação do solo é expresso, tradicionalmente, por índices de agregação que caracterizam a distribuição dos diferentes tamanhos de agregados que compõem o solo: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Módulo de Finura (MF) e Índice de Estabilidade de Agregados (IEA). O DMP é uma estimativa da quantidade relativa de solo em cada classe de agregados e é expresso em milímetros. Este índice aumenta quando aumenta a porcentagem dos maiores agregados. O DMG mostra o tamanho mais frequente dos agregados. Também é expresso em milímetros. O Módulo de Finura (MF) é a soma das porcentagens acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Quanto maior o módulo de finura, mais graúdo é o agregado. O Índice de Estabilidade de Agregados é uma medida da agregação do solo, como total, e varia entre 0 e 100 % (Castro Filho et al., 2002).

A avaliação da qualidade física do solo deve ser feita em função do conjunto de atributos e suas relações, pois esses separados não seriam suficientes para explicar maior ou menor produtividade das culturas e qual é a atual qualidade do solo (Carneiro et al., 2009; Soares et al., 2020). Portanto, o objetivo neste trabalho é avaliar possíveis alterações na qualidade de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura argilosa sob diversas formas de uso e manejo comparando-os com o de vegetação nativa de cerrado.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo observacional foi realizado no município de Rio Paranaíba - MG, altitude média de 1037m. O clima é temperado úmido, com duas estações bem definidas, verão quente

e chuvoso, inverno seco e frio, classificado como Cwa de acordo com Köppen-Geiger. A temperatura média anual é de 20,4 °C e pluviosidade média anual de 1570 mm.

Na região foram selecionados cinco tipos de usos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, relevo plano (variando declividade de 0 a 3%) e textura argilosa. Cada forma de uso foi considerada um tratamento (Tabela 1).

Tabela 1 - Histórico de uso e localização de Latossolos Vermelhos Amarelos Distróficos da região do Alto Paranaíba, no município de Rio Paranaíba.

Sistemas de uso do solo	Histórico
Pastagem	Área de pastagem há 7 anos sem nenhuma mobilização de solo e com aplicação de calcário no mesmo ano da coleta, sem incorporação. Coordenadas (-19.21447, -46.216276).
Mata Nativa	Vegetação nativa de cerrado, sem histórico de interferência humana em termos de uso agrícola. Coordenadas (-19.218521, -46.215180).
Café	Monocultura de café há 27 anos, sem mobilização de solo feito desde a implantação. Coordenadas (-19.215317, -46.220822).
Cereais	Plantio direto com sucessão de soja, feijão e milho há 4 anos e 6 meses e irrigação em malha. Desde a implantação foi feita uma subsolagem há 2 anos. Coordenadas (-19.214345, -46.232272).
Pivô	Área em pivô há 22 anos utilizada para cultivo de hortaliças, cereais e braquiária manejo intensivo do solo com subsolagem, gradagem e enxada rotativa. Coordenadas (-19.215677, -46.228313).

As análises químicas de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 0,05 m (Tabela 2) e 0,05 a 0,20 m (Tabela 3) para os sistemas de usos de Latossolos Vermelhos Amarelos Distróficos da região do Alto Paranaíba, no município de Rio Paranaíba.

Tabela 2 - Análise química do solo de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico sob sistemas de uso nas camadas de 0,00 a 0,05 m e de 0,05 a 0,20 m.

Atributos químicos		Sistemas de usos do solo			
0,00 a 0,05 m	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô
pH H ₂ O	5,83	5,90	5,93	5,87	5,94
P Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	5,67	1,97	70,50	6,83	122,49
(cmol _c dm ⁻³)					
K ⁺	0,06	0,11	0,41	0,32	0,68
Ca ²⁺	4,10	1,50	1,15	4,65	4,25
Mg ²⁺	1,24	0,30	0,24	1,43	0,83
Al ³⁺	0,00	1,30	0,90	0,00	0,00
H+Al	4,35	15,55	2,00	3,20	3,20
SB	5,40	1,91	1,80	6,40	5,76
t	5,40	3,23	3,60	6,27	5,69
CTC	9,75	17,46	3,80	9,60	8,96
Mt (%)	0,00	7,44	23,68	0,00	0,00
MO (g dm ⁻³)	34,25	62,75	23,45	28,25	23,95
V (%)	55,39	10,94	47,34	66,67	64,29

Atributos químicos		Sistemas de usos do solo			
0,05 a 0,20 m	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô
pH H ₂ O	5,75	5,90	6,17	6,07	5,85
P Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	3,48	1,12	3,03	8,20	76,88
(cmol _c dm ⁻³)					
K ⁺	0,05	0,06	0,15	0,15	0,12
Ca ²⁺	2,92	1,13	1,00	2,00	4,13
Mg ²⁺	0,40	0,22	0,03	0,40	1,08
Al ³⁺	0,11	0,43	1,25	0,00	0,00
H+Al	5,70	9,34	12,53	4,43	2,95
SB	3,37	1,41	1,18	2,55	5,33
t	3,48	1,71	2,19	2,55	5,32
CTC	9,07	10,75	13,71	6,98	8,28
Mt (%)	1,21	4,00	9,11	0,00	0,00
MO (g dm ⁻³)	30,25	30,31	30,13	24,67	22,25
V (%)	37,16	13,12	8,60	36,53	64, 37

A utilização de um ambiente como testemunha para os ambientes antrópicos é justificada pela baixa variação dos atributos do solo na área de vegetação nativa e sendo assim, suas comparações são fiéis em relação às variações das áreas agricultáveis (Corrêa et al., 2009). Cada repetição foi uma parcela, sendo quatro repetições por tratamento, tendo como usos do solo os fatores primários e profundidades ao longo do perfil do solo como fatores secundários. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e as amostras coletadas foram casualizadas em laboratório.

Para as análises físicas de densidade (Ds), porosidade total (P), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e umidade do solo (Us) foram considerados os valores das médias de quatro pontos coletados aleatoriamente para compor cada repetição, sendo quatro repetições por tratamento (tipos de uso do solo). As profundidades de coleta foram de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm, compondo 64 amostras totais por tratamento e 16 amostras médias por tratamento, que foram coletadas utilizando-se do método do anel volumétrico (Matos, 2011). As coletas das amostras indeformadas de solo com estrutura indeformada foram feitas com o trado tipo Uhland, com anéis volumétricos de aproximadamente 95 cm³. Os procedimentos laboratoriais e cálculos foram feitos a partir da metodologia descrita no manual da Embrapa (1997). A densidade de partícula média do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico encontrada foi no valor igual a 2,26 g cm⁻³, que foi utilizada para os cálculos de porosidade do solo.

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) ocorreu em camadas de 0,10 m até a profundidade de 0,60 m, com o auxílio do penetrômetro de impacto, modelo IAA/ Planalsulcar-Stolf, equipado com um ponta cônica tipo 2, com diâmetro de 12 mm e ângulo sólido de 45°, êmbolo padrão de 4,026 kg e altura para deslocamento vertical do embolo de 0,4 m (Asae, 1999). Foram feitos vinte e quatro pontos por ambiente devido à homogeneidade das áreas, sendo seis pontos de amostragem para compor uma repetição, em um total de quatro repetições por tratamento. Os dados que foram observados com o penetrômetro de impacto foram transformados da unidade cm impacto⁻¹ para a unidade kgf cm⁻² conforme Stolf (1991) e convertidos para MPa.

A coleta de solo para mensurar a umidade foi feita no mesmo instante e ao lado da coleta do número de impactos, considerando os tipos de usos do solo e suas camadas que eram até 0,6 m de profundidade. No momento das coletas, o solo estava úmido devido a chuvas recorrentes em dias anteriores.

A percentagem dos agregados foi obtida por via úmida, sendo as amostras coletadas na camada de 0 a 20 cm com o auxílio de enxadão em cada um dos cinco tipos de usos do solo e analisadas pelo procedimento descrito por Kemper & Rosenau (1986). Neste procedimento,

100g dos agregados selecionados foram pré-umedecidos por capilaridade, transferidos para um conjunto com peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 mm de malha e submetidos à agitação vertical durante 15 min com rotação de 42 ciclos por minutos, imersos em recipiente com água (Yoder, 1936). O solo retido em cada peneira foi acondicionado em recipientes, para secagem em estufa a 105 °C, durante 24h. Em seguida foram pesadas e calculadas a massa e a porcentagem de agregados estáveis em cada uma das classes de diâmetro de agregados.

Os valores da porcentagem de agregados retidos por classe de tamanho (Pa) foram obtidos por meio da Equação 1:

$$Pa = Mi / (\sum i Mi) \times 100 \quad (1)$$

Em que: Pa = porcentagem de agregados retidos por classe de tamanho (%); Mi = massa retida por classe de tamanho (g);

O módulo de finura (MF) foi obtido por meio da Equação 2:

$$MF = (\sum \text{percentagens acumuladas}) / 100 \quad (2)$$

Em que: MF = módulo de finura.

Os valores do diâmetro médio ponderado (DMP) foram determinados de acordo com Vieira (1992) e os valores do diâmetro médio geométrico (DMG) foram determinados de acordo com Gupta & Larson (1982).

Os resultados das análises de mata nativa (Tabela 7) foram utilizados para cálculos do índice de sensibilidade, foi calculado conforme descrito por Konda (2015).

As análises de granulometria foram feitas a partir de amostras deformadas nas profundidades de 0-20 cm de profundidade de acordo com Gee & Bauer (1986).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando houve diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O software utilizado para análise estatística dos dados foi o R Core Team (2015).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os conteúdos de areia, silte e argila variaram na camada de 0 a 0,20 m em função dos sistemas de uso do solo (Tabela 3). As frações de areia observadas foram maiores no sistema de uso com pivô e cereais quando comparados à mata nativa e café. Entretanto, para esses dois sistemas a fração argila foi a menor. No tratamento de mata nativa, observou-se a maior porcentagem de argila e menor de areia e silte se comparado aos demais tratamentos. Isso pode indicar que a área sob cerrado foi menos degradada, com menor perda de argila por erosão,

enquanto nas áreas sob cultivo intensivo há perdas de argila por erosão laminar e predomínio de minerais primários (areia e silte) na camada superficial do solo.

Tabela 3 - Valores médios em g kg^{-1} de argila, areia, e classe textural, na profundidade de 0 a 0,20 m, sob sistemas de uso dos solos.

Sistemas de usos do solo	Areia	Argila	Silte	Classe Textural
Pastagem	258,50 BC	481,10 B	260,40 A	Argiloso
Mata Nativa	199,00 C	640,00 A	161,00 B	Muito argiloso
Café	221,33 C	531,09 B	247,58 A	Argiloso
Cereais	310,41 AB	350,18 C	339,41 A	Argiloso
Pivô	350,86 AB	354,53 C	294,61 A	Argiloso
CV(%)	12,11	9,20	20,50	

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV= Coeficiente de variação.

A classe textural em todos os tratamentos para a camada de 0 a 20 cm observada foi a argilosa, exceto para o tratamento com mata nativa. Isso indica homogeneidade do solo nos processos de formação e similaridade de materiais de origem (Alifa et al., 2020). Entretanto, a classe textural na mata nativa observada foi a muito argilosa, o que pode sugerir que houve perdas por erosão em todos os sistemas de uso e, como argila é fração mais fina, foi removida. A concentração de areia foi maior nas áreas de cereais e de pivô, que envolveu maior mobilização do solo. Portanto, os sistemas de usos do solo induziram a mudanças na textura do solo de muito argilosa para argilosa nos tratamentos em que houve uso mais intensivo do solo, maior perturbação do solo. Isso pode ser explicado pelo processo de erosão caracterizado pela desagregação, transporte e deposição de suas partículas minerais ao longo da paisagem.

A densidade do solo (D_s) foi influenciada pelos sistemas de uso e pelas camadas do solo, com interação entre os fatores (Tabela 4). Os valores de D_s foram menores na mata nativa e na área de cereais do que nas áreas de café, pastagem e pivô, que não diferiram entre si. Evidenciando que o sistema plantio direto pode causar insignificante compactação no solo, conforme o observado na área preservada sob vegetação de mata nativa sob cerrado, ao contrário do verificado nas demais formas de uso do solo avaliadas. Ao comparar as profundidades em cada área, os menores valores D_s na camada superficial do solo foram observados na área de cereais em plantio direto. Isso pode ser devido à deposição de materiais vegetais sobre o solo, sua falta de incorporação e maiores teores de matéria orgânica do solo (MOS), que favorecem a estruturação do solo (Fiorini et al., 2018).

Tabela 4 - Densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade do solo em função dos sistemas de uso e das camadas do solo de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.

Camadas (m)	Sistemas de uso do solo					Médias
	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô	
Densidade do solo (g cm^{-3})						Médias
0 - 0,05	1,06 Ab	0,81 Bb	1,14 Aa	0,85 Bb	1,14 Aa	1,00
0,05 - 0,10	1,13 Aab	0,91 Ba	1,13 Aa	0,93 Ba	1,16 Aa	1,05
0,10 - 0,20	1,14 Aa	0,93 Ba	1,07 Aa	0,91 Bab	1,12 Aa	1,03
0,20 - 0,30	1,07 Aab	0,93 Ba	1,09 Aa	0,97 Ba	1,11 Aa	1,03
Médias	1,10	0,89	1,10	0,91	1,13	
Porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)						Médias
0 - 0,05	0,55 Ca	0,64 Aa	0,58 BCa	0,60 Aba	0,56 Ca	0,59
0,05 - 0,10	0,54 Ca	0,63 Aa	0,58 Bab	0,60 Aba	0,52 Cb	0,57
0,10 - 0,20	0,52 Ba	0,59 Ab	0,53 Bc	0,59 Aa	0,53 Bab	0,55
0,20 - 0,30	0,53 Ba	0,59 Ab	0,55 Bbc	0,60 Aa	0,54 Bab	0,56
Médias	0,54	0,61	0,56	0,59	0,53	
Macroporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)						Médias
0 - 0,05	0,23 Cab	0,35 Aa	0,25 Ba	0,25 Ba	0,25 BCa	0,27
0,05 - 0,10	0,23 Ba	0,34 Aa	0,24 Bab	0,24 Bab	0,21 Cb	0,25
0,10 - 0,20	0,21 Cb	0,30 Ab	0,22 BCb	0,22 BCb	0,23 Ba	0,19
0,20 - 0,30	0,23 Ba	0,31 Ab	0,24 Bab	0,25 Bab	0,25 Ba	0,26
Médias	0,23	0,33	0,34	0,24	0,24	
Microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)						Médias
0 - 0,05	0,32	0,29	0,33	0,36	0,31	0,32 a
0,05 - 0,10	0,30	0,30	0,36	0,37	0,30	0,32 a
0,10 - 0,20	0,31	0,30	0,36	0,36	0,30	0,31 ab
0,20 - 0,30	0,30	0,38	0,35	0,35	0,29	0,31 b
Médias	0,31 bc	0,29 d	0,32 b	0,36 a	0,30 cd	

As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Densidade do solo CV=4,24%; Porosidade total do solo CV1= 3,28%; e CV2= 3,02 %; Macroporosidade do solo CV1= 6,68% e CV2= 4,23%; Microporosidade do solo CV1= 3,94% e CV2= 3,98%; CV1: Coeficiente de Variação do fator solo; CV2: Coeficiente de Variação do fator profundidade.

O sistema de uso do solo com cereais pode ter tido esse comportamento devido à forma de preparo do solo e de manejo empregado na área, que foram com subsolagem e gradagem antes do início dos cultivos e em plantio direto desse solo por quatro anos e meio, sendo a última

subsolagem realizada há 2 anos. A menor Ds nas áreas de mata nativa pode ser explicada devido aos elevados teores de carbono orgânico e a atividade biológica presente, que faz canais e cavidades (Steinbess et al., 2009; de Freitas et al., 2017), e ainda por não sofrer efeitos do tráfego de máquinas e implementos. Quanto maior a Ds menor pode ser a sua estruturação e a sua porosidade total (Pt), restringindo o desenvolvimento das plantas (Mota et al., 2013).

A porosidade total do solo (Pt) influenciada pelos sistemas de usos do solo (Tabela 4). A Pt na mata nativa e na área de cereais em sistema de plantio direto, foi maior do que nas áreas de pastagem, café e pivô que foram iguais entre si. As menores Pt observadas podem ter ocorrido devido à maior compactação nos sistemas de pastagem, café e pivô em decorrência do aumento da Ds (Freitas, 2011; Freitas et al., 2017). Os efeitos de degradação e compactação podem ser devido ao efeito do tráfego de máquinas em condições de alta umidade do solo (Lima et al., 2018). A redução da Pt em áreas de pastagem deveu-se ao pisoteio dos animais, proporcionando a diminuição da macroporosidade, como observado também por Giarola et al., (2007). De forma geral, os latossolos da região do Cerrado em condições naturais apresentam altos valores de Porosidade total, pois apresenta estrutura granular, baixa densidade, alta capacidade de infiltração de água (Serafim et al., 2019).

Com relação à macroporosidade houve interação entre os sistemas de usos e as camadas do solo (Tabela 4). O tratamento obteve maior macroporosidade, foi observada na mata nativa. Nesse sistema, a macroporosidade diminuiu a partir de 0,10 m de profundidade. A falta de perturbação do solo, sistema radicular denso e com raízes grossas e abundantemente fauna do solo podem favorecer a criação de macroporos (Reynolds., et., 2007).

A pequena macroporosidade encontrada na camada superficial do solo sob pastagem é justificada pela deformação dos macroporos, o que contribui para a compactação do solo (Soares et al, 2020). De maneira geral, os 0,10 m superiores são importantes para germinação de sementes, erosão, aeração, escoamento e infiltração de água, e emergência de plântulas (Reynolds et al., 2007), sendo essa camada a que sofre maiores efeitos pelo pisoteio dos animais.

A microporosidade não foi influenciada pelos tipos de usos do solo nem pelas profundidades. Geralmente em área de cultivo, a camada superficial aumenta a quantidade de macroporos; entretanto, a estrutura granular dos latossolos garante a presença de microagregados com poros muito finos internamente (Serafim et al., 2019). A microporosidade do solo é muito influenciada pela textura, teor de carbono e pouco influenciada pelo aumento da Ds por tráfego de máquinas (Silva & Kay, 1997; Freitas et al., 2017). Silva & Ribeiro (1992) observaram redução no volume de poros totais, porém não constataram alteração substancial

no volume de microporos entre os tratamentos, que eram os anos de cultivo, nem em profundidade quando cultivado em cana de açúcar. Já Araújo et al. (2004) também não observaram diferenças na microporosidade entre os seus usos avaliados, que eram com mata nativa e sistema convencional de preparo do solo.

A resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) foi influenciada pelos sistemas de usos e pelas camadas do solo e ocorreu interação entre os fatores (Tabela 5). Os valores de umidade foram coletados no momento da avaliação dos impactos e observou-se umidade uniforme ao longo do perfil do solo com média de 23,08 %. As propriedades físicas do solo relacionadas a compactação do solo como a densidade aparente e RMSP podem afetar a emergência de plântulas, o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, a produção agrícola a porosidade e infiltração de água (Blanco-Canqui & Ruis, 2018).

Tabela 5 - Resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) em função dos sistemas de uso e das camadas do solo e umidade (%) de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.

Camadas	Sistemas de usos do solo				
(m)	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô
RMSP (mPa)					
0 – 0,10	1,77 Aa	0,99 Ba	2,25 Aa	1,60 Aab	0,99 Bc
0,10 - 0,20	2,11 Aa	0,99 Ca	2,70 Aa	2,17 Aa	1,27 Bbc
0,20 - 0,30	1,69 Aa	0,99 Ba	1,41 Ab	1,55 Ab	1,58 Aab
0,30 - 0,40	0,90 Bb	0,99 Ca	1,21 Bb	1,24 Bbc	1,91 Aa
0,40 - 0,50	0,99 BCb	0,99 Ca	1,21 Bb	1,04 BCc	1,60 Aa
0,50 - 0,60	0,99 Bb	0,99 Ba	1,13 Bb	0,99 Bc	1,58 Aab
Umidade do solo (%)					
0 – 0,10	21,30	20,10	23,10	24,80	21,80
0,10 - 0,20	21,70	20,80	23,10	25,70	21,50
0,20 - 0,30	21,80	20,60	23,60	25,30	20,80
0,30 - 0,40	21,00	19,90	30,20	24,60	20,80
0,40 - 0,50	21,20	19,90	21,30	24,00	20,60
0,50 - 0,60	21,20	19,90	21,30	24,00	20,60

As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV da RMSP= 26,21%; CV: Coeficiente de Variação.

A menor RMSP foi observada na mata nativa para todas as profundidades estudadas, exceto para a camada superficial da área sob pivô, que foi similar. O periódico da enxada rotativa em solo sob pivô exerce intenso revolvimento do solo em profundidade média de 0,10 m (Coan, 1995; Carvalho et al., 2007). Nesses implementos, os órgãos ativos são fixos em um

mesmo eixo, e não penetram o solo em maiores profundidades de operação, mas causam intensa mobilização. Os tratamentos de pastagem, café, cereais e pivô tiveram maiores RMSP até os 0,30 m de profundidade, sendo a camada de 0,10 – 0,20 m a mais crítica, com valores > 2 Mpa (Tabela 5). Entretanto, o mesmo não ocorreu no tratamento pivô, provavelmente devido à periódica mobilização com subsolador, grade e enxada rotativa. Uma certa compactação é importante para melhorar o contato do solo com a semente e com as raízes, mas acima dos níveis permitidos (>2Mpa) pode dificultar esse contato e o desenvolvimento radicular (Bengough et al., 2011; Blanco-Canqui & Ruis, 2018).

Os sistemas de uso do solo influenciaram na distribuição das cinco classes de tamanho de agregados estáveis em água (Tabela 6). Todos os tratamentos apresentaram maior porcentagem média de agregados (Pa) para a classe > 2 mm seguida pela classe < 0,25 mm. Os tratamentos com mata nativa, Café e cereais apresentaram Pa mais uniforme entre classes de tamanho do solo. Essa quantidade maior de Pa retidos na peneira de 2 mm, pode ser devido à ação de agregação e de força das raízes (Szakács, 2007). Nos sistemas de uso do solo com pivô, isso é justificado pelo preparo mais intensivo realizado periodicamente. Sendo assim, os agregados maiores são mais sensíveis ao preparo de solo que os agregados menores (Six et al 1998; Sarker et al.,2018).

Tabela 6 - Porcentagem média de agregados (%) retidos por classes de tamanho em função dos sistemas de uso de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico na camada de 0 a 20 cm.

Classes (mm)	Sistemas de usos do solo				
	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô
Porcentagem média de agregados (%)					
> 2,00	68,37 A	70,96 A	90,89 A	83,37 A	83,62 A
1,00 – 2,00	0,13 D	8,16 B	0,37 C	0,50 C	0,64 E
0,50 – 1,00	0,35 D	0,38 C	0,61 C	1,03 C	2,05 C
0,25 – 0,50	9,36 C	9,82 B	0,54 C	0,99 C	1,09 D
< 0,25	21,79 B	10,68 B	7,59 B	14,11 B	12,60 B
CV (%)	33,17	81,45	8,37	11,86	8,96

As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV: Coeficiente de Variação.

Os resíduos vegetais e restos culturais nos sistemas de forma geral proporcionaram ao solo a formação de agregados > 0,25 mm, denominados de macroagregados. Dessa forma, esses macroagregados estáveis podem ser considerados identificadores fiéis do estado global da saúde e da qualidade do solo, indicando ser o solo resistente à erosão e à pressão mecânica do

tráfego de máquinas e de implementos. Esses macroagregados são formados devido ao grande aporte de raízes que geram matéria orgânica e aumento da agregação do solo (Denef et al., 2007). Para a formação do agregado, é necessário que os colóides do solo se encontrem floculados e que todos os componentes do agregado, sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante (Hillel et al., 1980), como é característico em solos caulíníticos e/ou oxidícos, como o caso de Latossolos.

As classes de tamanho podem apresentar diferentes estabilidades, matérias orgânicas do solo (MOS) e biodisponibilidade, variando ainda mais com manejo e uso do solo (Zhang et al., 2014). Os diferentes tamanhos de agregados são identificados em solos onde MOS é o principal agente de ligação, fato também observado por Rabot et al. (2018).

A alta porcentagem de agregados com tamanho $< 1,00$ mm nos sistemas com uso de pastagem, mata nativa em relação aos outros sistemas, indica a baixa propensão desses usos ao risco de erosão e degradação desse solo. Foi verificado percentuais acima de 68% até 90,89% de agregados com tamanho maior que 2,00 mm para todos os sistemas de uso do solo. Os agregados maiores apresentam uma das características do manejo conservacionista do solo, que é a maior agregação, que garante ao solo maior estruturação e resistência contra erosão (Llanillo et al., 2006).

O diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e o módulo de finura (MF) e o índice de sensibilidade (IS) foram influenciados pelos tipos de usos do solo (Tabela 10). O cálculo do DMP permite a comparação de diversos manejos e usos do solo quanto a sua organização da estrutura do solo (Salton et al., 2008). O sistema de uso do solo com pivô apresentou maior DMP com valor de 3,85 mm, ou seja, são os agregados estáveis de maior tamanho encontrados, se comparado com os demais tratamentos, que foram iguais entre si. Isso pode ter ocorrido devido ao uso do solo no momento da coleta do solo na área sob pivô, que estava cultivado com a cultura de cenoura, antecedido pela cultura da braquiária, que produzindo um elevado conteúdo de massa, deve ter favorecido a estrutura mais estável dos agregados do solo. Salton et al. (2008) também observaram que os valores de DMP em Latossolo Vermelho Distrófico foram constantes ao longo do perfil e maiores nos sistemas com pastagem em rotação com soja e pastagem permanente. Assim, pode-se concluir que a manutenção do DMP com valores próximos ou superiores aos encontrados em vegetação nativa é obtida com rotação lavoura-pastagem, ou com pastagem permanente. Desta forma, no presente trabalho, os valores de DMP variaram de 3,85 para o sistema de pivô a 2,40 mm para a pastagem, valores que estão próximos ou superiores ao de sistema de mata nativa que é de 2,47 mm.

Tabela 8 - Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), módulo de finura (MF) e Índice de sensibilidade (IS) em função dos sistemas de uso de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.

Sistemas de usos do solo	DMP (mm)	DMG (mm)	MF	IS
Pastagem	2,40 B	1,97 A	1,02 C	1,00 A
Mata Nativa	2,47 B	1,97 A	1,02 C	1,00 A
Café	2,90 B	1,94 AB	1,04 BC	0,98 AB
Cereais	2,94 B	1,92 BC	1,06 B	0,97 B
Pivô	3,85 A	1,88 C	1,09 A	0,95 C
CV(%)	10,7	0,87	1,20	1,02

Médias seguidas por uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. CV= Coeficiente de variação.

Loss et al. (2014) encontraram valores de DMP e DMG semelhantes de sistema de plantio direto, pastagem e floresta na camada superficial que podem ser decorrentes de elevado teores de carbono orgânico existentes nas áreas. É importante ressaltar que em áreas com maior estabilidade de agregados (DMP e DMG), há maior proteção do carbono orgânico da decomposição (Loss et al., 2011).

Nos sistemas de uso pivô e cereais foram observados os menores DMG, com valor de 1,88 e 1,92 mm se comparado com os outros sistemas, que foram iguais entre si (Tabela 8). Esses DMG menores decorreram de aumento nas classes de agregados menores. Isso pode ter acontecido devido aos macroagregados, que também podem ser formados por processos físicos e por operações mecanizadas podendo ser menos estáveis, pois o que confere estabilidade aos agregados são os agentes cimentantes ligados aos aspectos biológicos (Salton et al., 2008). A maior estabilidade de agregados (DMG) resulta da permanência de restos culturais e sua decomposição pela microbiota e, com isso, produz substâncias que aumentam as forças que mantém unidas as partículas do solo (Amarante et al., 2015), o que explica porque os tratamentos de mata nativa e pastagem apresentaram os maiores DMG.

O maior MF também ocorreu com o sistema de uso de pivô, sendo ele 1,09, isto é, o menor tamanho de agregados dentre os demais tratamentos. Em contrapartida, os maiores tamanhos de agregados são nos sistemas mata nativa e pastagem. O índice de sensibilidade (IS) é indicador da influência dos tipos de coberturas vegetais e das formas de manejo na estabilidade dos agregados do solo (Fontana et al., 2010) e, quanto maior o valor deste índice, mais próximo o solo estará da sua condição natural (Bolinder et al., 1999). O IS foi maior para os sistemas de uso de pastagem, e menor para o sistema de uso com pivô. Isso indica que o

tratamento com pastagem está próximo da condição natural, pois apresenta valor considerado alto (Bolinder et al., 1999), sendo o sistema de uso mais preservado, enquanto o sistema sob pivô foi o mais alterado.

2.4. CONCLUSÃO

Houve alteração na qualidade de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico sob diversas formas de uso e manejo quando comparados com o de vegetação nativa de cerrado.

Os sistemas de uso com pastagem, pivô, café e na área de cereais quando comparados com sistema de vegetação típica do cerrado na profundidade de 20 cm apresentaram menores porcentagens de argila.

Os atributos físicos densidade, porosidade total, macroporosidade do solo do sistema de plantio direto apresentaram semelhança ao do sistema de mata nativa, demonstrando menores alterações na qualidade desses atributos quanto ao uso e manejo do solo.

O atributo resistência mecânica do solo a penetração dos demais sistemas como café, pastagem, pivô e cereais em plantio direto sofreu alterações negativas quanto qualidade do solo se comparados com a mata nativa.

O diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico e o índice de sensibilidade dos tratamentos demonstraram boa estabilidade de agregados quando comparados com o sistema de mata nativa, assim não houve alterações na qualidade desses atributos.

2.5. REFERÊNCIAS

ALIFA, M.; CLAUTILDE, M.; CHRISTOPHE, H. L.; KESEL, R.; & OUMAR, O. M. Restoration of soil physical parameters by an ecological Revitalization Technology (ReviTec) in Maroua, Far North Region, Cameroon. **International Journal Advanced Research in Bioliological Sciences**, v.7, n.3, p.139-151, 2020.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, AP da. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ASAE. **American Society Of Agricultural Engineers. Soil cone penetrometer**. In: ASAE Standards 1999: standards engineering practices data. 46 ed. St. Joseph, p. 834-835, 1999. (ASAE S313.1)

BLANCO-CANQUI, H. E.; RUIS, S. J. Plantio direto e ambiente físico do solo. **Geoderma**, v. 326, p. 164-200, 2018.

BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E. G.; CARTER, M.R. The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, p. 37-45, 1999.

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 Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 147-157, 2009.

CARVALHO FILHO, A.; DA SILVA, R. P.; CENTURION, J. F.; CARVALHO, L. C. C.; LOPES, A. Agregação de um latossolo vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba-MG. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 317-325, 2007.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soilmanagement systems in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 65, p. 45-51. 2002.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F. D.; SILVA, V. R. D.; & BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.

COAN, O. **Sistemas de preparo de solo: efeitos sobre a camada mobilizada e no comportamento das culturas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e do milho (*Zea mays* L.), conduzidas em rotação**. 1995. 138 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1995.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A; MELO, D. V. M DE. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

DENEF, K., L.; ZOTARELLI, R.M.; BODDEY & J. SIX. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic in two Oxisols. **Soil Biology Biochemistry**, v. 39, p. 1165-1172, 2007.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2ª edição. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997 ou EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.: il. (EMBRAPA-CNPS. Documentos; 1)

FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; & BOGIANI, J. C. Qualidade de um latossolo sob plantio convencional e sistema plantio direto no cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.281-297, 2019.

FERNANDES, K. L.; RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J.; CUSTÓDIO, G. D.; BARROS, L. R. Influence of time management in modeling of curve resistance to the penetration of a Latosol under different uses and management of pastures and native woodland. **Revista Árvore**, v.40, n.3, p.519-527, 2019.

FIORINI, A.; BOSELLI, R.; AMADUCCI, S.; & TABAGLIO, V. Efeitos do plantio direto na arquitetura radicular e nas interações raiz-solo em uma rotação de culturas de três anos. **European Journal of Agronomy**, v.99, 156-166, 2018.

FREITAS, L. **Influência de fragmentos florestais nativos sobre os parâmetros químicos, físicos e microbiológicos de solos cultivados com cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal), Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 2011. 115 p.

FREITAS, L.; DE OLIVEIRA, I.A.; SILVA, L.S.; FRARE, J.C.V.; FILLA, V.A. AND GOMES, R.P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v.26, p.1-2, 2017.

FONTANA, A.; DE BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, p.291-297, 2010.

GEE, G.W.; BAUDNER, J.W. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 1 – **Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, p.383-409, 1986.

GIAROLA, N.F.B., TORMENA, C.A., DUTRA, A.C. Physical degradation of a red latosol used for intensive forage production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.863-873, 2007.

GOMES, B. V.; CURI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.1, p. 137-153, 2004.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of Soil Analysis**. Wisconsin: Soil Science Society of America, p.425- 441, 1986.

KONDA, A.H. **Agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de cultivo**. 37 f. Trabalho de graduação Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

LIMA, R.P., SILVA, A.P., GIAROLA, N.F.B., SILVA, A.R., ROLIM, M.M., KELLER, T., 2018. Impact of initial bulk density and matric suction on compressive properties of two oxisols under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 168-177, 2018.

LOPES, E.S.; OLIVEIRA, D.; RODRIGUES, C. K.; DRINKO, C. H. Compactação de um Solo submetido ao tráfego do harvester e do forwarder na colheita de madeira. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.2, p.223-230, 2015.

LOSS, A.; COSTA, E.M.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.113, n.1, p.1-8, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; PERIN, A.; ANJOS, L.H.C.D. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob a planta direta com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1269-1276, 2011.

MATOS, A.T. Práticas de qualidade do meio físico e ambiental: Caderno didático 34. 2011. 102 f. **Engenharia na Agricultura**, Cadernos Didáticos, Viçosa: ABEAS/DEA-UFV.

MOTA, J.C.A.; FREIRE, A.G. AND ASSIS JÚNIOR, R.N.D. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.5, p.1196-1206, 2013.

NAPPO, M. E.; PEREIRA, R. S.; MIGUEL, E. P.; OLIVEIRA, R.; GASPAR, E. A. T. M.; ANGELO, H. O efeito da vegetação sobre as propriedades físicas de um latossolo vermelho. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 43, p. 3154-3159, 2017.

NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, A. P.; NORONHA, N. C.; CERRI, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 232-241, 2013.

OLIVEIRA, D.M.S.; LIMA, R. P.; VERBURG, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquidos suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 280-285, 2015.

RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H.J. Estrutura do solo como um indicador das funções do solo: uma revisão. **Geoderma**, v. 314, p. 122-137, 2018.

RAMOS, A.M.R.; AMORIM, B.M.B.; FREIRE, C.T.M.; LIMA, D.L.F.A. Atributos físicos do solo em sistema consorciado e monocultivo do maracujá (*Passiflora edulis Sims*). **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, n. 1, p. 80-87, 2019.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007.

R CORE TEAM (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; YANG, X.M.; FOX, C.A.; TAN, C.S.; ZHANG, T.Q. Efeitos do manejo da terra na qualidade física próxima à superfície de um solo argiloso. **Pesquisa de Solo e Lavoura**, v. 96, n. 1-2, p. 316-330, 2007.

ROCHA, J.H.T.; SANTOS, A.J.M.; DIOGO, F.A.; BACKES, C.; MELO, A.G.C.D.; BORELLI, K.; GODINHO, T.D.O. Reflorestamento e recuperação de estatísticas e testes químicos de solo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 299-306, 2015.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M. AND BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008.

SARKER, J.R.; SINGH, B.P.; COWIE, A.L.; FANG, Y.; COLLINS, D.; DOUGHERTY, W.J.; SINGH, B.K. Dinâmica da mineralização de carbono e nutrientes em classes de tamanho agregado de diferentes sistemas de lavoura após a entrada de canola e resíduos de trigo. **Biologia do Solo e Bioquímica**, v. 116, p. 22-38, 2018.

SERAFIM, M.E.; ZEVIANI, W.M.; ONO, F.B.; NEVES, L.G.; SILVA, B.M. E LAL, R. Valores de referência e qualidade do solo em áreas de alto rendimento de soja na região do Cerrado, Brasil. **Pesquisa de Solo e Lavoura**, v. 195, p. 104-362, 2019.

SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science*. **Society of America Journal**, v. 61, n. 3 p. 877-883, 1997.

SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M. R. Influencia do cultivo contínuo da cana de açúcar em propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 397-402, 1992.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J.W. Agregação e acúmulo de matéria orgânica do solo em solos de pastagem cultivados e nativos. **Revista de Ciência do Solo da América**, v. 62, n. 5, p. 1367-1377, 1998.

SOANE B.D.; VAN OUWERKERK C. Soil compaction problems in world agriculture. In: **Developments in Agricultural Engineering**. Elsevier, p. 1-21, 1994.

STEINBEISS, S.; GLEIXNER, G.; ANTONIETTI, M. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 6, p. 1301-1310, 2009.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.229-235, 1991.

SZAKÁCS, G.G.J. **Estoques de carbono e agregados do solo cultivado com cana-de-acucar**: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil. 2007. 105p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba.

TOIGO, S.; BRAIDA, J.A.; POSSENTI, J.C.; BRANDELERO, E.M.; BAESSO, M.M. Atributos físicos de um Nitossolo Vermelho cultivado com trigo, em sistema plantio direto, submetido à compactação e escarificação. **Engenharia na Agricultura**, v.23, n.1, p.19-28, 2015.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v.28, p.337- 351, 1936.

3. CAPÍTULO II – INDICADORES DA QUALIDADE QUÍMICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO ARGILOSO

Resumo

As propriedades químicas do solo são afetadas pela remoção da vegetação natural e pelo cultivo de culturas agrícolas, de forma que a adição de corretivos e fertilizantes na camada arável alteram as condições originais do solo. O objetivo neste trabalho foi avaliar o comportamento dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico para inferir sobre a qualidade desse solo sob diferentes usos quando comparado com um solo de cerrado nativo. O estudo observacional foi realizado no município de Rio Paranaíba – MG, o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições e cinco tratamentos, sendo eles sistemas de uso do solo: T1 – Pastagem; T2 – Mata nativa do tipo cerrado; T3 – Cultura do Café; T4 – cereais em plantio direto e irrigado em malha; T5 – Culturas sob Pivô e foram avaliados, em duas camadas (0-0,05 e 0,05-0,20 cm). Concluiu-se que o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico apresentou alterações químicas do solo sob diferentes usos quando comparado com um solo de cerrado nativo. Em solos com vegetação nativa de cerrado ocorreu acúmulos significativos no teor de matéria orgânica do solo, de acidez potencial, de saturação por alumínio e de capacidade de troca catiônica total, mas baixos valores de soma de bases e de saturação por bases, expressando a baixa fertilidade natural do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico na região do Cerrado. Em solos com pastagem, café, cereais e cultivo intenso sob pivô apresentaram acúmulos significativos nos atributos relacionados com correções e adubações do solo como soma de bases e saturação por bases, mas baixos acúmulos para a capacidade de troca catiônica total, acidez potencial, saturação por alumínio e matéria orgânica do solo, indicando, de forma geral, acréscimos de fertilidade dos atributos químicos, quando comparados à área sob vegetação nativa, tipo cerrado.

Palavras chave: Análise química do solo. Atributos químicos do solo. Fertilidade do solo.

3. CHAPTER II – INDICATORS OF THE PHYSICAL QUALITY OF A RED YELLOW DYSTROPHIC RED DYLOSOL

Abstract

The chemical properties of the soil are affected by the removal of natural vegetation and the cultivation of agricultural crops, so that the addition of correctives and fertilizers in the arable layer alter the original conditions of the soil. The objective of this work was to evaluate the behavior of the chemical attributes of a Haplustox to infer about the quality of this soil under different uses when compared to a native cerrado soil. This observational study was carried out in Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brazil. The experimental design was completely randomized in a split plot scheme with four replications and five treatments of which are land use systems: T1 - Pasture; T2 - Cerrado native forest; T3 - Coffee Culture; T4 - cereals in no-tillage and mesh irrigated; T5 - Cultures under Pivot and were evaluated, in two layers (0-0.05 and 0.05-0.20 cm). It is concluded that the dystrophic Red Yellow Latosol presented chemical alterations of the soil under different uses when compared to a native cerrado soil. In soils with native cerrado vegetation there were significant accumulations of soil organic matter content, potential acidity, aluminum saturation and total cation exchange capacity, but low base sum and base saturation values, expressing the low natural fertility of the Dystrophic Red Latosol in the Cerrado region. In soils with pasture, coffee, cereals and intense cultivation under pivot, they presented significant accumulations in the attributes related to soil corrections and fertilizations as sum of bases and base saturation, but low accumulations for the total cation exchange capacity, potential acidity, saturation by aluminum and soil organic matter, indicating, in general, increases in fertility of chemical attributes, when compared to the area under native vegetation, cerrado type.

Keywords: Chemical soil analysis. Chemical attributes of the soil. Soil fertility.

3.1. INTRODUÇÃO

As propriedades químicas do solo são afetadas pela remoção da vegetação natural e pelo cultivo de culturas agrícolas, de forma que a adição de corretivos e fertilizantes na camada arável alteram as condições originais do solo (Freitas et al., 2014). Entretanto, o nível das alterações depende de vários fatores como a cultura implantada, o manejo utilizado, a classe e a fertilidade inicial do solo, o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (Marchiori Júnior & Melo, 2000). O condicionamento do perfil inicial do solo para viabilizar sua utilização agrícola, por meio da incorporação de calcário e de adubações corretivas, é comumente referido como a etapa de “construção da fertilidade”. Contudo, para o efetivo estabelecimento e manutenção de ambientes de alto potencial produtivo são requeridos procedimentos encadeados de diagnóstico e de manejo do solo e das culturas ao longo do tempo, visando promover qualidade química, física e biológica ao substrato de crescimento (Kappes & Zancanaro, 2014), para que as plantas possam utilizar de forma eficiente os recursos disponíveis (água, nutrientes, luz) e o produtor tirar o máximo proveito do potencial genético das cultivares utilizadas. Portanto, é muito importante conhecer e entender as dinâmicas das propriedades do solo, pois isso influencia diretamente o sucesso da produção agrícola e proporciona manutenção da qualidade do solo (Santos et al., 2016), comumente referido como a etapa de “manutenção da fertilidade”.

A qualidade do solo pode ser mensurada através dos atributos químicos, físicos e biológicos, que devem ser comparados com os solos sob condições naturais ou área com menores perturbações para obter o grau de melhoria, ou de degradação dessas áreas (Islam & Weil, 2000; Rocha et al., 2015). Boas práticas no manejo de atributos químicos do solo, são capazes de fornecer os nutrientes para o adequado desenvolvimento das plantas, a neutralização de elementos tóxicos e metais pesados em concentrações nocivas, a adoção de práticas capazes de promover reações de sorção, e de controle do nível nocivo de salinidade (Meurer, 2007; Rocha et al., 2015). O conhecimento das modificações químicas do solo diante de cultivos sucessivos pode fornecer subsídios para adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento das culturas garantindo a sustentabilidade e conservação dos ecossistemas (Freitas et al., 2015).

O manejo da adubação é um dos principais condicionadores de produtividade das culturas. A partir de uma boa caracterização edáfica, com frequente uso de análises de solo, é possível orientar as decisões e o gerenciamento agrônomo das lavouras na agricultura (Resende & Coelho, 2017). Em sistema de cultivo de culturas, observa-se que os atributos

químicos do solo, com exceção do pH, apresentam maior variabilidade que os físicos (Botega et al., 2013). Além disso, os atributos químicos também apresentam significativa variação na variabilidade espacial do solo (Aquino et al., 2014).

O empobrecimento das propriedades biofísicas e químicas do solo devido ao uso inadequado e intensivo pode levar a degradação ambiental em diferentes escalas e proporções (Cram et al., 2015). Portanto, acompanhar o nível de fertilidade no solo é fundamental para suprir e manejar a nutrição correta do solo e proporcionar boa produção agrícola das culturas, além de garantir a qualidade do solo (Tasso Júnior et al., 2010; Santos et al., 2016). Assim, o objetivo neste trabalho foi avaliar o comportamento dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico para inferir sobre as alterações desse solo sob diferentes usos quando comparado com um solo de cerrado nativo.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo observacional foi realizado no município de Rio Paranaíba - MG, altitude média de 1037m. O clima é temperado úmido, com duas estações bem definidas, verão quente e chuvoso, inverno seco e frio, classificado como Cwa de acordo com Köppen-Geiger. A temperatura média anual é de 20,4 °C e pluviosidade média anual de 1570 mm.

Na região foram selecionados cinco sistemas de usos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, relevo plano e textura argilosa. Cada forma de uso foi considerada um tratamento (Tabela 1).

Tabela 1 - Histórico de uso e localização de Latossolos Vermelhos Amarelos Distróficos da região do Alto Paranaíba, no município de Rio Paranaíba.

Sistemas de uso do solo	Histórico
Pastagem	Área de pastagem há 7 anos sem nenhuma mobilização de solo e com aplicação de calcário, sem incorporação, no mesmo ano da coleta dos dados. Coordenadas (-19.21447, - 46.216276).
Mata Nativa	Vegetação nativa do tipo cerrado, sem histórico de interferência humana em termos de uso agrícola. Coordenadas (-19.218521, - 46.215180).
Café	Monocultura de café há 27 anos, sem mobilização de solo desde a implantação. Coordenadas (-19.215317, - 46.220822).
Cereais	Plantio direto e irrigado em malha com sucessão de soja, feijão e milho há 4 anos e 6 meses; desde a implantação foi feita uma subsolagem há 2 anos. Coordenadas (-19.214345, -46.232272).
Pivô	Área sob pivô há 22 anos, utilizada para cultivo de hortaliças, cereais e braquiária com manejo intensivo do solo, utilizando subsolador, grades e enxada rotativa. Coordenadas (-19.215677, - 46.228313).

A utilização de um ambiente como testemunha para os ambientes antrópicos é justificada pela baixa variação dos atributos do solo na área de vegetação nativa e sendo assim suas comparações fiéis, em relação as variações das de áreas agricultáveis (Corrêa et al., 2009). Cada repetição foi uma parcela, sendo quatro repetições por tratamento, tendo como usos do solo os fatores primários e profundidades ao longo do perfil do solo como fatores secundários. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e as amostras coletadas foram casualizadas em laboratório.

Para as análises químicas, foram coletadas 20 amostras simples aleatoriamente com enxadão, para compor uma amostra composta deformada por cada repetição, sendo quatro repetições por tratamento, lembrando que a coleta na cultura do café foi na projeção da saia das plantas. O esquema foi em parcelas subdivididas, os fatores primários foram os sistemas de usos e os fatores secundários as profundidades de 0-5 e 5-20 cm, o delineamento foi inteiramente casualizado. Totalizando 40 amostras e, em seguida, foram enviadas ao laboratório para análises químicas. Os atributos químicos de solo avaliados foram o pH em água, as bases trocáveis, o fósforo disponível, a CTC total e efetiva, a saturação por bases (V%), acidez potencial, matéria orgânica do solo e a saturação por alumínio (Claessen, 1997).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando houve diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de

5% de probabilidade. O software utilizado para análise estatística dos dados foi o R Core Team (2015).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O atributo químico pH em H₂O até a profundidade de 0,05 m foi o único que não sofreu influência dos sistemas de usos do solo sendo classificada como acidez média, de acordo com a CFSEMG, (1999) (Tabela 2). As classificações de pH são: < 5,0 de acidez elevada, 5,0 a 5,9 de acidez média, 6,0 a 6,9 acidez fraca (CFSEMG, 1999). Na camada de 0,05 a 0,20 m, o sistema de uso com pastagem apresentou menor valor de pH em H₂O (acidez média), quando comparado aos sistemas de café e de cereais em plantio direto (fraca acidez) (Tabela 2). Isso pode ser explicado porque áreas com os solos menos revolvidos não ocorre adequada incorporação do insumo, sendo mais lenta a reação da calagem e elevação do pH (Nascente et al., 2014), além de ocorrer lenta mineralização de MO tanto em superfície quanto em profundidade, favorecendo a liberação de ácidos orgânicos (Lima et al., 2013). No caso do tratamento de cereais, a fraca acidez pode ser explicada pela rotação de culturas com soja, que podem não necessitar de aplicação de nitrogênio (Nascente et al., 2014). Portanto, os valores de pH do solo indicam que todos os tratamentos, nas duas profundidades, apresentaram valores classificados como bons, na faixa de pH de 5,5 a 6,0 (Ribeiro et al., 1999). De acordo com Souza e Lobato (2004), os solos do cerrado apresentação pH em água classificados como adequados na faixa de 4,9 a 5,5, altos entre 5,6 a 5,8 e muito altos para valores acima de 5,9.

Tabela 2 - Análise química do solo de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico sob sistemas de uso na camada de 0,00 a 0,05 m e de 0,05 a 20 m.

Atributos químicos		Sistemas de usos do solo				
0,00 a 0,05 m	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô	CV (%)
pH H ₂ O	5,83 A	5,90 A	5,93 A	5,87 A	5,94 A	1,70
P Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	5,67 D	1,97 E	70,50 B	6,83 C	122,49 A	2,12
K ⁺	0,06 E	0,11 D	0,41 B	0,32 C	0,68 A	3,71
Ca ²⁺	4,10 B	1,50 C	1,15 D	4,65 A	4,25 B	3,78
Mg ²⁺	1,24 B	0,30 D	0,24 D	1,43 A	0,83 C	8,42
Al ³⁺	0,00 C	1,30 A	0,90 B	0,00 C	0,00 C	18,58
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,35 B	15,55 A	2,00 D	3,20 C	3,20 C	0,83
SB	5,40 B	1,91 C	1,80 C	6,40 A	5,76 AB	5,67
T	5,40 C	3,23 E	3,60 D	6,27 A	5,69 B	12,30
CTC	9,75 B	17,46 A	3,80 D	9,60 B	8,96 C	1,64
Mt (%)	0,00 C	7,44 B	23,68 A	0,00 C	0,00 C	15,68
MO (g dm ⁻³)	34,25 B	62,75 A	23,45 B	28,25 C	23,95 D	5,34
V (%)	55,39 C	10,94 D	47,34 C	66,67 A	64,29 B	1,37
Atributos químicos		Sistemas de usos do solo				
0,05 a 0,20 m	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô	CV(%)
pH H ₂ O	5,75 C	5,90 BC	6,17 A	6,07 AB	5,85 BC	2,08
P Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	3,48 C	1,12 D	3,03 C	8,20 B	76,88 A	5,41
K ⁺	0,05 C	0,06 C	0,15 A	0,15 A	0,12 B	8,66
Ca ²⁺	2,92 B	1,13 D	1,00 E	2,00 C	4,13 A	2,37
Mg ²⁺	0,40 B	0,22 C	0,03 D	0,40 B	1,08 A	7,78
Al ³⁺	0,11 C	0,43 B	1,25 A	0,00 D	0,00 D	17,87
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,70 C	9,34 B	12,53 A	4,43 D	2,95 E	2,32
SB	3,37 B	1,41 D	1,18 E	2,55 C	5,33 A	2,93
T	3,48 B	1,71 E	2,19 D	2,55 C	5,32 A	5,09
CTC	9,07 C	10,75 B	13,71 A	6,98 E	8,28 D	2,07
Mt (%)	1,21 C	4,00 B	9,11 A	0,00 C	0,00 C	16,64
MO (g dm ⁻³)	30,25 A	30,31 A	30,13 A	24,67 B	22,25 C	4,04
V (%)	37,16 B	13,12 C	8,60 D	36,53 B	64, 37 A	2,16

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na linha são estatisticamente iguais ao nível de 5 % de significância pelo teste de Tukey.

O fósforo disponível (P) é maior para o uso com pivô nas duas profundidades, pois é um sistema de cultivo intensivo, com culturas anuais muito exigentes, como as olerícolas, e em todo plantio é adicionado o P para ajudar no desenvolvimento da cultura, além do fato de o P apresentar baixa mobilidade no solo (Lima et al., 2013). O menor valor de P foi observado no sistema de mata nativa para ambas as profundidades, porque há a ausência de correção dos níveis do elemento nesse tratamento. O elevado valor ($70,50 \text{ mg dm}^{-3}$) encontrado na camada superficial do solo para a cultura do café é justificado pela frequente aplicação de fertilizante, sem incorporação no solo na projeção da saia do café, onde também foi realizada a amostragem de solo.

Na profundidade de 0,05 m até 0,2 m o tratamento com uso de cereais obteve o segundo maior teor de P, considerado adequado pensando em uma boa fertilidade do solo, com valor de $8,20 \text{ mg dm}^{-3}$, pois as raízes presentes devido ao não preparo do solo ao longo do tempo garantem o aprofundamento de P no perfil do solo (Santos et al., 2016). Portanto, o único tratamento com valores considerados altos para P ao longo do perfil foi o uso com pivô, com valor acima de 20 mg dm^{-3} (Ribeiro et al., (1999)). Os valores encontrados nos sistemas de uso do solo com argila acima de 35%, foram classificados de acordo com a tabela de interpretação de solo para P extraído pelo método Mehlich (CFSEMG, 1999).

Os teores de K^+ no solo foram maiores no tratamento com café, cereais e pivô até 0,20 m de profundidade, sendo estes considerados altos, pois os valores médios segundo Ribeiro et al. (1999) são entre 0,105 e $0,180 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e os baixos menores que $0,038 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os menores valores encontrados na área sob pastagem, de maneira geral, podem ser explicados pela falta de adubação periódica, e pelas perdas por lixiviação devido à baixa CTC e menor força de adsorção desse cátion no solo. Na área sob vegetação de cerrado, os baixos valores são devidos apenas a ciclagem de nutrientes, uma vez que não recebem adubação química (Souza & Alves, 2003).

A área sob mata nativa apresentou a maior CTC ($17,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada superficial do solo, enquanto na camada de 0,05 a 0,20 metros, a maior CTC ($13,71 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ocorreu na área sob café. Isto é justificado devido aos valores elevados de H+Al nas respectivas camadas do solo. A Mt% encontrada na camada superficial, para o tratamento com mata nativa (7,44%) foi considerada baixa, enquanto para a cultura do café (23,68) é classificada como média. Para os demais tratamentos foi nula. Portugal et al. (2010), constataram os maiores valores de Mt% em sistemas de mata nativa e os menores em sistemas com café. Na camada superficial a menor CTC foi verificada para a área cultivada com o café, enquanto na camada inferior, o menor Mt% foi encontrada nas áreas sob pastagem, cereais e

pivô para as duas profundidades avaliadas. Os menores valores de Mt% encontrados nos tratamentos e nas duas profundidades podem ser explicados devido a presença de MOS, que pode complexar o Al^{3+} e diminuir seu efeito tóxico para as plantas (Lima et al., 2013). Valores altos de Mt% são acima de $1,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, como os observados nas duas profundidades avaliadas, na área sob cerrado (Ribeiro et al., 1999).

A acidez potencial do solo (H+Al) nos primeiros 0,05 m foi maior no sistema de mata nativa seguido pela pastagem, os valores variam de 15,55 a $2,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo o menor valor encontrado na área cultivada com café. Já de 0,05 a 0,20 m observou-se a maior acidez potencial no sistema sob cultivo de café seguido pela mata nativa, variando de 12,53 a $2,95 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo este o menor valor obtido na área sob pivô. A maior acidez potencial ocorre devido a ausência de calcário. Assim, os colóides não têm ligações disponíveis para as bases, porque estão ocupadas com H^+ e Al^{3+} (Oliveira et al., 2017). Logo, a acidez potencial é inversamente proporcional aos valores de pH (Steiner et al., 2011). Valores maiores ou iguais a $5,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para H+Al, são considerados altos, como os encontrados nas áreas sob pastagem e café, em profundidade, e na de mata nativa, nas duas profundidades avaliadas (Ribeiro et al., 1999).

O maior teor de Ca em superfície foi observado no sistema com cereais (Tabela 2). Isso pode ser em decorrência de acúmulo de nutrientes em superfície após três ou mais anos de cultivo com calagem e fertilização apenas em superfície e sem o revolvimento do solo (Santos et al., 2016). Nesta camada, os níveis de Ca variaram de 4,65 a $1,15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo considerados baixos, ou seja, menores que $4,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Ribeiro et al., 1999). Nos tratamentos com mata nativa e café. Os resultados de Siqueira Neto et al. (2009), em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, no Cerrado, foram de teores maiores de Ca para pastagem de baixa produtividade e sistema de plantio direto (SPD) em superfície. Na camada de 0,05 a 0,20 os maiores teores de Ca observados foram para o uso do solo com pivô, seguido do uso de pastagem. Na área de pivô, os teores de Ca estavam acima de $4,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Isso é explicado devido à aplicação e incorporação de calcário para o cultivo de cenoura previamente à coleta de solo.

Teores de magnésio acima de $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são considerados como altos, quando entre 0,46 e $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ são médios, e menores que $0,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, baixos (Ribeiro et al., 1999). Assim, na camada superficial observou-se os altos teores de magnésio (Mg) nas áreas cereais e de pastagem (Tabela 2). Esses teores são considerados altos, pois estão acima de $0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A área sob pivô apresentou valor considerado médio ($0,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto nas áreas sob mata nativa e café os valores foram baixos, apresentando 0,30 e $0,24 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$,

respectivamente. Na profundidade de 0,05 a 0,20 m o sistema de uso do solo com pivô apresentou maior teor de Mg, sendo considerado alto e o restante dos tratamentos possuem teores considerados baixos, menores que $0,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A soma de bases (SB) na superfície do solo foi maior em solo sob com pivô ($5,76 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e cultivado com cereais ($6,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e menor nas áreas de mata nativa e café ($1,91$ e $1,82 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente). Com o aumento da profundidade a SB se manteve maior apenas para a área sob pivô.

Valores de V% inferiores a 40% são considerados baixos (Ribeiro et al., 1999). Assim, a menor saturação por bases (V%) na camada 0 a 0,05 m foi observada no tratamento com mata nativa, sendo, portanto, considerada baixa. Isso se deve às condições naturais, características de solos tropicais, muito intemperizados, tendo como reflexo dos valores mais baixos de SB e valores mais altos de H+Al. Todos os demais tratamentos apresentaram valores de V% superiores a 40% na camada superficial do solo. O sistema de uso com cereais foi o que apresentou maior valor, diferindo estatisticamente dos demais. Para as camadas 0,05 a 0,20 m o maior V% foi observado no tratamento com pivô sendo o único a apresentar V% superior a 40%. Na sequência aparecem as áreas cultivadas com cereais e com pastagem, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si. As áreas sob mata nativa e sob café apresentaram as menores saturações por bases, com valores de 13,12 e de 8,60%, respectivamente.

O maior valor de matéria orgânica do solo (MOS) encontrado até 0,05 m foi no sistema de mata nativa ($62,75 \text{ g dm}^{-3}$), seguido pelo sistema pastagem e café, os quais não diferiram entre si (Tabela 2). Entretanto, de 0,05 a 0,20 m de profundidade os valores de MOS para os tratamentos de mata nativa, pastagem e café foram estatisticamente iguais e superiores aos tratamentos com cereais e sob pivô, sendo este último o que apresentou menor teor de MOS. Sabe-se que o teor de MOS, é utilizado com um indicador de alterações do solo, sendo maior em condições menos estressantes (Rocha et al., 2015). Esse atributo é importante em solos de cerrado por contribuir com cerca de 50% da CTC do solo (Roselen et al., 2012).

3.4. CONCLUSÃO

Conclui-se que o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico apresentou alterações químicas do solo sob diferentes usos quando comparado com um solo de cerrado nativo.

Em solos com vegetação nativa de cerrado ocorreu acúmulos significativos no teor de matéria orgânica do solo, de acidez potencial, de saturação por alumínio e de capacidade de

troca catiônica total, mas baixos valores de soma de bases e de saturação por bases, expressando a baixa fertilidade natural do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico na região do Cerrado.

Em solos com pastagem, café, cereais e cultivo intenso sob pivô apresentaram acúmulos significativos nos atributos relacionados com correções e adubações do solo como soma de bases e saturação por bases, mas baixos acúmulos para a capacidade de troca catiônica total, acidez potencial, saturação por alumínio e matéria orgânica do solo, indicando, de forma geral, acréscimos de fertilidade dos atributos químicos, quando comparados à área sob vegetação nativa, tipo cerrado.

3.5. REFERÊNCIAS

AQUINO, R. E. de; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A. de; SIQUEIRA, D. S. Distribuição espacial de atributos químicos de solo em área de pastagem e floresta. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 32-41, 2014.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M de; PINTO, F. de A. C.; SOUZA, C. M. A. de. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no Cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

CLAESSEN, M.E.C. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 1997.

CRAM, S.; SOMMER, I.; FERNÁNDEZ, P.; GALICIA, L.; RÍOS, C.; BAROIS, I. 2015. Soil natural capital modification through land use and cover change in a tropical forest landscape: implications for management. **Journal of Tropical Forest Science**, p. 189-201, 2015.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A; MELO, D. V. M DE. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

COSER, T. R.; DE FIGUEIREDO, C. C.; JOVANOVIĆ, B.; MOREIRA, T. N.; LEITE, G. G.; CABRAL FILHO, S. L. S.; MARCHÃO, R. L. Short-term buildup of carbon from a low-productivity pastureland to an agrisilviculture system in the Brazilian savannah. **Agricultural Systems**, v. 166, p. 184-195, 2018.

OLIVEIRA, T. P.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; NANZER, M. C.; BARRETA, P. G. V. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Journal Of Neotropical Agriculture**, v. 4, n. 5, p. 72-78, 2017.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; SOUZA JÚNIOR, P. R.; CAMPOS, M. C. C. Análises multivariadas de atributos químicos do solo para caracterização de ambientes. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 2, p. 155-164, 2014.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, V. M. R. Atributos químicos de Latossolo Vermelho submetido a diferentes manejos. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.

ISLAM, K. R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30., 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**, p. 358-381, 2014.

Lima, J. S. D. S., Silva, S. D. A., & Silva, J. M. D. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.1, p.16-23, 2013.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1177-1182, 2000.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAES RF, ALVAREZ VH, BARROS NF, FONTES RLF, CANTARUTTI RB, NEVES JCL, editores. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.

NASCENTE, A.S.; SILVEIRA, P.M.M.; LOBO JUNIOR, M.; SANTOS, G.G.; CUNHA, P.C.R. 2014. Atributos químicos de latossolo sob plantio direto afetados pelo manejo do solo e rotação de culturas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 153-163, 2014.

R CORE TEAM (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M. Amostragem para o mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute-IPNI**, setembro/2017. (Informações Agronômicas no 159).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação**. Viçosa MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

ROCHA, J.H.T.; SANTOS, A.J.M.; DIOGO, F.A.; BACKES, C.; MELO, A.G.C.D.; BORELLI, K. E.; GODINHO, T.D.O. Reflorestamento e recuperação de estatísticas e testes químicos de solo. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.3, p.299-306, 2015.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 133-139, 2003.

STEINER, F.; COSTA, S.M.; COSTA M.A.L.; PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science And Technology**. V.4, p.16-28, 2011.

TASSO JÚNIOR, L.C.; SILVA NETO, H.F.; SILVA, J.D.R. MARQUES, D.; CAMILOTTI F. Variação na fertilidade de solo ao longo da safra 2008/2009, para cultivares precoces de cana-de-açúcar. **Enciclopédia Biosfera**, v.6, p.1-9,2010.

4. CAPÍTULO III- INDICADORES DA QUALIDADE BIOLÓGICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO AMARELO DISTRÓFICO ARGILOSO

Resumo

A agricultura e pecuária promovidas de maneira ineficiente e podem diminuir a biodiversidade e qualidade do solo. Isso pode impor ao sistema solo/micro-organismos novas condições, e influenciar negativamente a disponibilidade e quantidade de nutrientes, bem como a qualidade do solo para colonização da microbiota. o objetivo neste trabalho foi avaliar o comportamento dos atributos biológicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico submetido a diferentes usos na agricultura comparado com um solo de cerrado nativo. O estudo observacional foi realizado no município de Rio Paranaíba – MG, o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições e cinco tratamentos: T1 –Área sob pastagem; T2 – Área sob Mata nativa, tipo cerrado; T3 – Área sob cultura do café; T4 – Área sob cultivo de cereais em plantio direto, com irrigação em malha; T5 – Área sob pivô, em cultivo intensivo. Os atributos biológicos do solo avaliados foram carbono orgânico total do solo, carbono da biomassa microbiana do solo, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano em duas camadas (0-0,05 e 0,05-0,20 m). Os atributos biológicos do solo sofreram alterações indicando menor qualidade dos sistemas de uso quando comparado com mata nativa de cerrado, pois os valores de carbono orgânico total do solo foram menores para os sistemas antrópicos e em profundidade. Os menores teores carbono da biomassa microbiana e respiração microbiana indicaram que houve perda na qualidade do solo para os sistemas cultivados, pois sofreram maior ação antrópica na camada arável e apresentaram menores frações de parte viva e ativa da matéria orgânica do solo. Na camada arável o atributo qCO_2 e o $qMic$ indicaram melhor aproveitamento do carbono pela biomassa e menores mudanças ambientais em todos os sistemas de uso do solo quando comparados com o sistema de mata nativa.

Palavras-chave: Biomassa microbiana do solo. Quociente metabólico. Quociente microbiano. Respiração basal.

4. CHAPTER III – BIOLOGICAL QUALITY INDICATORS OF A RED YELLOW DYSTROPHIC RED DYLOSOL

Abstract

Agriculture and livestock are promoted inefficiently and can decrease biodiversity and soil quality. This can impose new conditions on the soil / microorganisms system, and negatively influence the availability and quantity of nutrients, as well as the quality of the soil for colonization of the microbiota. The objective of this work was to evaluate the behavior of the biological attributes of a Haplustox submitted to different uses in agriculture compared to a native cerrado soil. This observational study was carried out in Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brazil. The experimental design was completely randomized in a split plot scheme with four replications and five treatments: T1 - Area under pasture; T2 - Area under native forest, cerrado type; T3 - Area under coffee culture; T4 - Area under cereal cultivation under no-tillage, with mesh irrigation; T5 - Area under pivot, under intensive cultivation. The biological attributes of the soil evaluated were total organic carbon of the soil, carbon of the microbial biomass of the soil, basal respiration, metabolic quotient and microbial quotient in two layers (0-0.05 and 0.05-0.20 m). The biological attributes of the soil underwent changes indicating a lower quality of the use systems when compared to native cerrado forest, since the total organic carbon values of the soil were lower for the anthropic and depth systems. The lower carbon levels of microbial biomass and microbial respiration indicated that there was a loss in soil quality for the cultivated systems, as they underwent greater anthropic action on the arable layer and had lower fractions of the living and active part of the soil's organic matter. In the arable layer, the attribute qCO_2 and $qMic$ indicated better use of carbon by biomass and less environmental changes in all land use systems when compared to the native forest system.

Keywords: soil microbial biomass. Metabolic quotient. Microbial quotient. Basal breathing.

4.1. INTRODUÇÃO

A agricultura e pecuária promovidas de maneira ineficiente e intensiva exercem influências significativas em questões como a diminuição da biodiversidade e da qualidade do solo (Coser et al., 2018). A alteração de áreas de matas nativas para áreas de cultivos agrícolas pode provocar mudanças potencialmente danosas às características físicas, químicas e biológicas do solo quando realizada de maneira insustentável (Almeida et al., 2016). Isso pode impor ao sistema solo/micro-organismos novas condições, e influenciar negativamente a disponibilidade e quantidade de nutrientes, bem como a qualidade do solo para colonização da microbiota (Lisboa et al., 2012).

As alterações que ocorrem no solo em função do uso e do manejo são mais sensíveis no que diz respeito aos atributos biológicos como carbono da biomassa microbiana, carbono orgânico do solo, respiração basal, quocientes microbianos e metabólicos (Costa et al., 2008; Almeida et al., 2016). Dessa forma, a qualidade biológica do solo deve ser mantida para que seu funcionamento esteja de acordo com os limites do ecossistema e, com isso, garantir a produtividade biológica e a qualidade do ar e da qualidade água (Pezarico et al., 2013).

A produtividade de uma colheita é diretamente proporcional à quantidade de biomassa microbiana do solo (Agnelo et al., 2020). No entanto, a população e a atividade da microbiota são alteradas com uso e manejo, podendo ter efeito deletério e por isso são consideradas importantes indicadores da qualidade do solo (Agnelo et al., 2020). As avaliações dos atributos biológicos do solo, principalmente da biomassa microbiana são importantes devido às funções de decomposição, mineralização, produção de metabólitos necessários ao seu crescimento, liberação e ciclagem de nutrientes (Acosta Martínez et al., 2010; Sanchez et al., 2019). Essa biomassa microbiana é constituída basicamente por fungos e bactérias bastante sensíveis às mudanças causadas no ambiente (Goenster et al., 2017). Os microrganismos são fatores ativos de formação do solo, atuando no material de origem (Phillips, 2017). Tais organismos são parte dos ciclos biogeoquímicos essenciais para desenvolvimento e manutenção da estrutura e qualidade do solo (Mazzeto et al., 2016).

No entanto, entre os indicadores da atividade microbiana, apenas as análises de respiração microbiana e de carbono da biomassa microbiana podem limitar a análises do solo, portanto deve-se mensurar também outros indicadores como respiração basal e os quocientes microbianos e metabólicos (Alves et al., 2011; Dadalto et al., 2015). A respiração mensura a atividade microbiológica dos solos onde os microrganismos degradam os compostos orgânicos em CO₂ (Silva et al., 2013). O quociente metabólico (qCO₂) é a razão da respiração basal pela

biomassa microbiana do solo, expressando o quanto de CO₂ é liberado pela biomassa microbiana em um determinado tempo (Anderson e Domsch. 1993). Já o quociente microbiano (qMic), razão entre a biomassa microbiana e o carbono orgânico que é imobilizado na biomassa e mostra a eficiência dos micro-organismos na utilização dos compostos orgânicos (Silva et al., 2010; Dadalto et al., 2015). Valores altos de qMic refletem valores altos de reserva de carbono orgânico total no solo e altas reservas de compostos orgânicos na área (Carneiro et al., 2009).

Diante disso, é importante ressaltar que as mudanças de uso do solo de cunho antrópico afetam a o funcionamento dos ecossistemas e a biodiversidade frente às transformações de áreas de florestas nativas em áreas agricultáveis, porém seus efeitos sobre os atributos biológicos ainda são pouco conhecidos (Ferreira et al., 2014). Portanto, o objetivo neste trabalho foi avaliar o comportamento dos atributos biológicos de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico submetido a diferentes usos na agricultura comparado com um solo de cerrado nativo.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo observacional foi realizado no município de Rio Paranaíba - MG, altitude média de 1037m. O clima é temperado úmido, com duas estações bem definidas, verão quente e chuvoso, inverno seco e frio, classificado como Cwa de acordo com Köppen-Geiger. A temperatura média anual é de 20,4 °C e pluviosidade média anual de 1570 mm.

Na região foram selecionados cinco tipos de usos de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, relevo plano e textura argilosa. Cada forma de uso foi considerada um tratamento (Tabela 1).

Tabela 1- Histórico de uso e localização de Latossolos Vermelhos Amarelos Distróficos da região do Alto Paranaíba, no município de Rio Paranaíba.

Sistemas de uso do solo	Histórico
Pastagem	Área de pastagem há 7 anos sem nenhuma mobilização de solo e com aplicação de calcário, sem incorporação, no mesmo ano da coleta. Coordenadas (-19.21447, -46.216276).
Mata Nativa	Vegetação nativa de cerrado, sem histórico de interferência humana em termos de uso agrícola. Coordenadas (-19.218521, -46.215180).
Café	Monocultura de café há 27 anos, sem mobilização de solo desde a implantação da lavoura. Coordenadas (-19.215317, -46.220822).
Cereais	Área irrigada em malha, com plantio direto em sucessão de soja, feijão e milho há 4 anos e 6 meses. Foi realizada uma subsolagem 2 anos antes da instalação deste experimento. Coordenadas (-19.214345, -46.232272).
Pivô	Área sob pivô há 22 anos e utilizada para cultivo de hortaliças, cereais e braquiária manejo intensivo do solo com subsolagem, gradagem e enxada rotativa. Coordenadas (-19.215677, -46.228313).

A utilização de um ambiente como testemunha para os ambientes antrópicos é justificada pela baixa variação dos atributos do solo na área de vegetação nativa e sendo assim suas comparações mais fiéis, em relação as variações das de áreas agricultáveis (Corrêa et al., 2009).

As análises químicas de solo nas camadas de 0 a 0,05 m e 0,05 a 0,20 m (Tabela 2) para os sistemas de usos de Latossolos Vermelhos Amarelos Distróficos no município de Rio Paranaíba na região do Alto Paranaíba.

Tabela 2 - Análise química do Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico sob sistemas de uso nas camadas de 0,00 a 0,05 m e de 0,05 a 0,20 m.

Atributos químicos 0,00		Sistemas de usos do solo			
a 0,05 m	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô
pH H ₂ O	5,83	5,90	5,93	5,87	5,94
P Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	5,67	1,97	70,50	6,83	122,49
K ⁺	0,06	0,11	0,41	0,32	0,68
Ca ²⁺	4,10	1,50	1,15	4,65	4,25
Mg ²⁺	1,24	0,30	0,24	1,43	0,83
Al ³⁺	0,00	1,30	0,90	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,35	15,55	2,00	3,20	3,20
SB	5,40	1,91	1,80	6,40	5,76
T	5,40	3,23	3,60	6,27	5,69
CTC	9,75	17,46	3,80	9,60	8,96
Mt (%)	0,00	7,44	23,68	0,00	0,00
MO (g dm ⁻³)	34,25	62,75	23,45	28,25	23,95
V (%)	55,39	10,94	47,34	66,67	64,29

Atributos químicos 0,05		Sistemas de usos do solo			
a 0,20 m	Pastagem	Mata Nativa	Café	Cereais	Pivô
pH H ₂ O	5,75	5,90	6,17	6,07	5,85
P Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	3,48	1,12	3,03	8,20	76,88
K ⁺	0,05	0,06	0,15	0,15	0,12
Ca ²⁺	2,92	1,13	1,00	2,00	4,13
Mg ²⁺	0,40	0,22	0,03	0,40	1,08
Al ³⁺	0,11	0,43	1,25	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,70	9,34	12,53	4,43	2,95
SB	3,37	1,41	1,18	2,55	5,33
T	3,48	1,71	2,19	2,55	5,32
CTC	9,07	10,75	13,71	6,98	8,28
Mt (%)	1,21	4,00	9,11	0,00	0,00
MO (g dm ⁻³)	30,25	30,31	30,13	24,67	22,25
V (%)	37,16	13,12	8,60	36,53	64,37

Foram coletadas com enxadão dez amostras simples deformadas aleatoriamente para compor uma amostra composta por repetição. Cada repetição foi uma parcela, sendo quatro repetições por tratamento. O esquema utilizado foi o de parcelas subdivididas tendo como

sistemas de usos do solo os fatores primários e profundidades ao longo do perfil do solo como fatores secundários. Em cada um dos cinco tratamentos foram feitas quatro repetições de amostras compostas, totalizando quarenta amostras.

Para a determinação do carbono orgânico total do solo (qCO_2) e o do carbono da biomassa microbiana do solo ($qMic$) utilizou-se a metodologia de Mendonça & Matos (2005). Após a determinação do conteúdo de C orgânico presente em cada amostra, definiu-se a quantidade de solo que deveria ser utilizada nas análises (Tabela 3). Para a determinação da respiração microbiana (RM) e o cálculo da quantidade de CO_2 utilizou-se a metodologia da Embrapa, (2016).

Tabela 3 - Quantidade de solo usado nas análises de Carbono orgânico Total.

Tipo de solo	Quantidade de solo (g)
Mata	0,1
Pastagem	0,2
Café	0,2
Sequeiro	0,3
Irrigado	0,3

Cada solo foi pesado e a determinação do carbono orgânico total foi feita utilizando a mesma metodologia do teste.

O quociente metabólico foi determinado a partir da razão entre respiração basal e carbono da biomassa microbiana e o quociente microbiano foi determinado pela razão entre o carbono da biomassa e o carbono orgânico total do solo (Anderson & Domsch, 1993).

Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando houve diferença entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O software utilizado para análise estatística dos dados foi o Speed Stat (Carvalho et al., 2017).

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O carbono orgânico total do solo (C_{org}) sofreu influência dos sistemas de uso do solo, das camadas e houve interação entre os fatores (Tabela 4). Na camada superficial do solo o maior valor encontrado de C_{org} foi $45,37 \text{ g kg}^{-1}$ para o sistema mata nativa, seguido pelos usos de pastagem e café. Hickmann & Costa (2012) também encontraram teores mais altos de C_{org} em áreas de vegetação nativa em comparação à pastagem, plantio direto e ao sistema convencional. A camada 0 a 5 cm apresentou maiores teores de C_{org} que a camada de 5 a 20 cm

apenas para os tratamentos com plantas perenes (pastagem, mata nativa e café). Os tratamentos que utilizaram culturas anuais, cereais e pivô, não apresentaram diferenças entre as profundidades avaliadas. Dal Ferro et al. (2020), observaram que as maiores diferenças na quantidade de carbono orgânico, comparando a camada superficial e em subsolo, ocorreram em sistemas de uso minimante cultivados, como também verificado no presente trabalho. Isso pode ter ocorrido porque a pastagem e sistema de plantio direto com outras culturas de cobertura fornecem insumos de carbono ao solo, diminuindo a perturbação do solo, maximizando o crescimento de raízes e aumentando a transferência de carbono orgânico para o subsolo (Chenu et al., 2018). Outros estudos também observam que a aração profunda pode aumentar a transferência de entrada de carbono orgânico para o subsolo (Alcántra et al., 2016). Esse acúmulo pode ser em decorrência da maior estabilidade do carbono ao longo do perfil do que no solo superficial, pois é mais inacessível a microrganismos e enzimas (Dal Ferro et al., 2020). Estes mesmos autores, observaram que as concentrações de carbono variam de acordo com o experimento, tipo de solo e profundidades do perfil.

Tabela 4 - Valores médios das variáveis microbianas (C_{org} , C_{mic} , RM) analisadas no Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função dos sistemas de uso e das camadas.

Tratamentos	C_{org} (g kg ⁻¹)		C_{mic} (mg kg ⁻¹)		RM (mg h ⁻¹ kg ⁻¹)	
	Camadas (cm)					
	0-5	5-20	0-5	5-20	0-5	5-20
Pastagem	24,38 Ba	16,43 Ab	325,81 Aa	182,32 Bb	3,50 Ca	0,94 Bb
Mata Nativa	45,37 Aa	9,37 Ab	367,73 Aa	387,08 Aa	8,48 Aa	3,33 Ab
Café	22,46 Ba	13,55 Ab	321,18 Aa	102,22 Bb	2,24 Da	0,43 Bb
Cereais	13,16 Ca	11,72 Aa	193,03 ABa	220,02 Ba	4,89 Ba	0,72 Bb
Pivô	11,02 Ca	10,48 Aa	95,51 Ba	197,40 Ba	3,16 Ca	0,81 Bb
CV (%)	20,49		39,79		12,14	

Médias com letras iguais maiúsculas em uma mesma coluna e minúsculas na linha, não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5% de significância. C_{org} = Carbono orgânico total do solo; C_{mic} = Carbono da biomassa microbiana; RM = Respiração microbiana; CV = Coeficiente de variação.

Na camada superficial do solo o maior valor encontrado de C_{org} foi 45,37 g kg⁻¹ para o sistema mata nativa, seguido pelos usos de pastagem e café. Hickmann & Costa (2012), também encontraram teores mais altos de C_{org} em áreas de vegetação nativa em comparação à pastagem, plantio direto e ao sistema convencional. A camada 0 a 5 cm apresentou maiores teores de C_{org} que a camada de 5 a 20 cm apenas para os tratamentos com plantas perenes (pastagem, mata

nativa e café). Os tratamentos que utilizaram culturas anuais, cereais e pivô, não apresentaram diferenças entre as profundidades avaliadas. Dal Ferro et al. (2020), observaram que as maiores diferenças na quantidade de carbono orgânico, comparando a camada superficial e em subsolo, ocorreram em sistemas de uso minimante cultivados, como também verificado no presente trabalho. Isso pode ter ocorrido porque o plantio direto, combinado com outras culturas de cobertura, ou pastagens fornecem insumos de carbono ao solo, diminuindo a perturbação do solo, maximizando o crescimento de raízes e aumentando a transferência de carbono orgânico para o subsolo (Chenu et al., 2018). Outros estudos também observam que há a hipótese de que a aração profunda pode aumentar a transferência de entrada de carbono orgânico para o subsolo (Alcántra et al., 2016). Essa acumulação pode ser em decorrência da maior estabilidade do carbono ao longo do perfil, do que no solo superficial, pois é mais inacessível a micro-organismos e enzimas (Dal Ferro et al., 2020). Estes mesmos autores, observaram que as concentrações de carbono variam de acordo com o experimento, tipo de solo e profundidades do perfil.

O carbono orgânico da biomassa microbiana total do solo (C_{mic}) sofreu influência dos sistemas de usos do solo, das camadas e houve interação entre os fatores. Avaliando a camada superficial do solo, observa-se que os sistemas com uso de pastagem, mata nativa e café apresentaram maiores valores de C_{mic} , quando comparados à área de pivô, enquanto a área sob cereais não diferiu dos demais tratamentos. A biomassa microbiana e sua atividade no solo são indicadores sensíveis às mudanças de uso do solo, pois ela representa a parte viva e mais ativa da matéria orgânica (Almeida et al., 2016). Mbuthia et al. (2015) observaram que o C_{mic} não foi alterado pelo preparo de solo e a área com plantio direto apresentou significativa composição da estrutura da comunidade. Lourente et al. (2011) também não observaram diferença estatística nos valores de C_{mic} entre o sistema de preparo convencional e o plantio direto. Na profundidade de 5 a 20 cm os valores de C_{mic} , para as áreas sob pastagem, café, cereais e pivô foram iguais e inferiores estatisticamente aos obtidos na área sob mata nativa. Entre as profundidades, observa-se que o C_{mic} foi maior em superfície para os sistemas de uso com pastagem e com café. Neves et al. (2009), não encontraram diferença estatística no Cerrado para os valores de C_{mic} entre as profundidades, mesmo com tendência do C_{mic} diminuir com o aumento da profundidade pela menor disponibilidade de MOS. Os solos de Cerrado sofrem uma queda acentuada nos níveis da biomassa à medida que sofrem ações antrópicas de cunho agrícola (Mendes et al. 1999). Isso ocorre devido a demanda energética da população microbiana em adaptação às novas condições e redução de MOS. Após cessado o efeito inicial promovido e o estabelecimento da cultura com aumento da deposição de material ocorre novo equilíbrio e aumento da biomassa microbiana (Neves et al., 1999).

A respiração microbiana (RM) foi maior no solo de mata nativa, indicando maior metabolismo dos microrganismos nesse solo, seguido pelas áreas de cereais, pívô e pastagem e café na camada 0 a 5 cm (Tabela 4). A maior liberação de CO₂ em áreas de vegetação nativa ocorre devido a maiores teores de carbono no solo, indicando constante deposição e mineralização de serapilheira, com acúmulo de MO que promove elevada biomassa microbiana e atividade biológica (Almeida et al., 2016). Os resultados encontrados são semelhantes aos encontrados por Silva et al. (2012), que observaram maiores valores de respiração basal em áreas de fragmentos de floresta em relação as culturas anuais e perenes.

Na camada entre 5 e 20 cm, a RM do sistema mata nativa foi maior que a ocorrida nos demais sistemas, que por sua vez, não diferiram estatisticamente. Observa-se também que a RM na camada de 0 a 5 cm foi maior que a encontrada na camada de 5 a 20 cm para todos os sistemas avaliados. Fiorini et al. (2020) também observaram maior atividade biológica próxima à superfície do solo do que em profundidade para sistemas de manejo de plantio direto se comparado com sistemas de preparo do solo convencional.

O quociente metabólico (qCO₂) foi maior para os tratamentos com uso mata nativa, cereais e pívô na profundidade 0 a 5 cm, e nesta mesma profundidade e sistemas de usos, houve maior qCO₂ quando comparado à camada de 5 a 20 cm (Tabela 6). Valores elevados de qCO₂ indicam rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes, ou algum estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação do solo (Bai et al., 2019). Então, o menor qCO₂ indica melhor aproveitamento de carbono pela biomassa microbiana e menores são as perdas de CO₂.

Tabela 5 - Valores médios das variáveis microbianas (qCO₂, qM_{ic}) analisadas no Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função dos sistemas de uso e das camadas.

Tratamentos	qCO ₂		qM _{ic}	
	Camadas (cm)			
	0-5	5-20	0-5	5-20
Pastagem	10,83 Ba	5,36 Aa	13,73 Aa	11,59 Ba
Mata Nativa	21,01 Aa	8,10 Ab	12,50 Ab	38,77 Aa
Café	8,95 Ba	2,03 Aa	14,30 Aa	20,58 ABa
Cereais	28,79 Aa	3,33 Ab	14,76 Aa	18,71 ABa
Pivô	28,82 Aa	4,95 Ab	8,88 Aa	19,63 ABa
CV (%)	54,11		62,22	

Médias com letras iguais maiúsculas em uma mesma coluna e minúsculas na linha, não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5% de significância. qCO₂ = Quociente metabólico; qM_{ic} = Quociente microbiano; CV = Coeficiente de variação.

O quociente microbiano (qM_{ic}) não sofreu influência dos sistemas de uso do solo na camada superficial. De forma semelhante, o mesmo ocorreu na profundidade de 5 a 20 cm do solo, exceto para a área sob mata nativa que apresentou valor superior ao da área sob pastagem. O qM_{ic} da camada superficial do solo foi inferior ao da camada mais profunda apenas para a área sob mata nativa do tipo cerrado. O qM_{ic} pode ser usado como um indicador de estabilidade para reconhecimento rápido de mudanças ambientais e são encontrados em baixos valores, quando estão sistemas de monocultura (Muñoz et al., 2017). Valores maiores de qM_{ic} , indicam que o carbono orgânico está mais facilmente acessível para a microbiota do solo, sendo indicador de qualidade e disponibilidade de MOS (Almeida et al., 2016).

4.4. CONCLUSÃO

Os atributos biológicos do solo sofreram alterações indicando menor qualidade dos sistemas de uso quando comparado com mata nativa de cerrado, pois os valores de carbono orgânico total do solo foram menores para os sistemas antrópicos e em profundidade.

Os menores teores carbono da biomassa microbiana e respiração microbiana indicaram que houve perda na qualidade do solo para os sistemas cultivados, pois sofreram maior ação antrópica na camada arável e apresentaram menores frações de parte viva e ativa da matéria orgânica do solo.

Na camada arável o atributo qCO_2 e o q_{mic} indicaram melhor aproveitamento do carbono pela biomassa e menores mudanças ambientais em todos os sistemas de uso do solo quando comparados com o sistema de mata nativa.

4.5. REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; BUROW, V. G.; ZOBECK, T. M. E. ALLEN, V. G. Comunidades microbianas do solo e funciona em sistemas alternativos ao algodão contínuo. **Ciência do Solo**. V.74, p.1181-1192, 2010.
- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: Alef, K., Nannipieri, P. (eds.). **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic press, p. 214–219, 1995.
- ALCÁNTARA, V.; DON, A.; WELL, R.; NIEDER, R. 2016. Deep ploughing increases agricultural soil organic matter stocks. **Global Change Biology**, v. 22, n. 8, p. 2939-2956, 2016.
- ALMEIDA, L. S. D.; FERREIRA, V. A. S.; FERNANDES, L. A.; FRAZÃO, L. A.; OLIVEIRA, A. L. G.; & SAMPAIO, R. A. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1539-1547, 2016.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, 2011.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (q_{CO2}) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.

AGNELO, L.; LEONEL, L.P.; SILVA, N.B.; CANDELLO, F.P.; SCHNEIDER, J. E TONETTI, AL.; Efeitos de desinfetantes de águas residuais no solo: implicações para atributos químicos e microbianos do solo. **Ciência do Meio Ambiente Total**, v.706, p.136007, 2020.

BAI, X.; HUANG, Y.; REN, W.; COYNE, M.; JACINTHE, P.A.; TAO, B.; HUI, D.; YANG, J.; MATOCHA, C. 2019. Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 25, n. 8, p. 2591-2606, 2019.

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 Ciência do Solo**. v.33, n.2, 147-157, 2009.

CARVALHO, A.M.X.; Mendes, F.Q. SPEED Stat: a minimalist and intuitive spreadsheet program for classical experimental statistics. **Anais da 62ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**, p. 333, 2017.

CHENU, C.; ANGERS, D.A.; BARRÉ, P.; DERRIEN, D.; ARROUAYS, D.; BALESSENT, J. Increasing organic stocks in agricultural soils: knowledge gaps and potential innovations. **Soil and Tillage Research**, v. 188, p. 41-52, 2018.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A; MELO, D. V. M DE. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.2, p.305-314, 2009.

COSTA, F. de S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

DADALTO, J.P.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M.M.; CECON, P.R. E DE MATOS, A.T. INFLUÊNCIA DE TILAGEM NA ATIVIDADE MICROBIAL DO SOLO. **Engenharia Agrícola**, v.3, n.3, p.506-513, 2015.

DAL FERRO, N.; PICCOLI, I.; BERTI, A.; POLESE, R. E MORARI, F. Potencial de armazenamento de carbono orgânico em camadas profundas do solo agrícola: Evidências de experimentos de longo prazo no nordeste da Itália. **Agricultura, Ecossistemas e Meio Ambiente**, v.300, p.106967, 2020.

FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; DE ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAEUER, N. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a Semi-arid Region of Northeast Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 2, p. 171-178, 2016.

FIORINI, A.; BOSELLI, R.; MARIS, S.C.; SANTELLI, S.; PEREGO, A.; ACUTIS, M.; BRENNIA, S. E TABAGLIO, V. Tipo de solo e sistema de cultivo como propulsores do solo indicadores de qualidade em resposta ao plantio direto: um estudo de campo de 7 anos. **Applied Soil Ecology**, v.155, p.103-646, 2020.

GOENSTER, S.; GRÜNDLER, C.; BUERKERT, A.; JOERGENSEN, R.G.; Soil microbial indicators across land use types in the river oasis Bulgan sum center, Western Mongolia. **Ecological Indicadores**, v. 76, p. 111-118, 2017.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M. da. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.1055-1061, 2012.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; CEZESMUNDO FERREIRA GOMES; ADRIANO SOARES GASPARINI; NUNES, C. M. Atributos Microbiológicos, Químicos E Físicos De Solo Sob Diferentes Sistemas De Manejo E Condições De Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20 – 28, 2011.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; 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, n. 1, p. 33-43, 2012.

MAZZETO, A. M.; CERRI, C. E. P.; FELGI, B. J.; CERRI, C. C. Activity of soil microbial biomass altered by land use in the southwestern Amazon. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 77 p. 2005.

MUÑOZ, K.; BUCHMANN, C.; MEYER, M.; SCHMIDT-HEYDT, M.; STEINMETZ, Z.; DIEHL, D.; THIELE-BRUHN, S. E SCHAUMANN, G.E.; 2017. Qualidade físico-química e microbiana do solo indicadores afetados pelo sistema de manejo agrícola no cultivo de morangos com cobertura de palha ou polietileno preto. **Applied Soil Ecology**, v. 113, p. 36-44, 2017.

MBUTHIA, L.W.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; DEBRUYN, J.; SCHAEFFER, S.; TYLER, D.; ODOI, E.; MPHESHEA, M.; WALKER, F. E EASH, N. Longo prazo plantio direto, cobertura vegetal e efeitos da fertilização na estrutura da comunidade microbiana, atividade: implicações para a qualidade do solo. **Biologia do Solo e Bioquímica**, v. 89, p. 24-34, 2015.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. D. S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no nordeste do estado de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2009.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PHILLIPS, J.D. Soil complexity and pedogenesis. **Soil Science**, v. 182, p. 117–127, 2017.

SANCHEZ, I. I.; FULTZ, L. M.; LOFTON, J.; & HAGGARD, B. Soil biological response to integration of cover crops and nitrogen rates in a conservation tillage corn production system. **Soil Science Society of America Journal**, v. 83, n. 5, p. 1356-1367, 2019.

SILVA, J. M.; ALBURQUERQUE, L. S. D.; SANTOS, T. M. C. D.; OLIVEIRA, J. U. L. D.; GUEDES, E. L. F. Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, v. 8, n. 4, p. 132-135, 2013.

SILVA, C.F. da.; PEREIRA, M.G.; MIGUEL, D.L.; FEITORA, J.C.F.; LOSS, A.; MENEZES, C.E.G.; SILVA, E.M.R. Da. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1680-1689, 2012.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiografia campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

MENDES, I. C.; VIVALDI, L.; RIBEIRO, J. A.; VARGAS, M. A. T.; RIBEIRO, F. J. **Biomassa -C e atividade microbiana em solos do bioma cerrado sob vegetação nativa**. Brasília, DF: Embrapa-CPAC, v. 4, 1999.

5.5. CONCLUSÃO GERAL

Os atributos químicos, físicos do solo e a matéria orgânica são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo, tendo como referência a vegetação nativa, o que permite o uso desses atributos como pedoint indicadores ambientais da qualidade física, química e biológica do solo.

6. ANEXOS



Figura 01 - Localização da área experimental com a indicação dos tratamentos, em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Rio Paranaíba-MG.



Figura 02 - Sistema de uso com pastagem (Tratamento 1). Rio Paranaíba – MG.



Figura 03 - Sistema de uso mata nativa sob vegetação de cerrado para a comparação com os ambientes antrópicos (Tratamento 2). Rio Paranaíba-MG.



Figura 04 - Sistema de uso com cultivo de café há 27 anos (Tratamento 3). Rio Paranaíba-MG.



Figura 05 - Sistema de uso com plantio direto em sucessão de soja, feijão e milho há 4 anos e 6 meses e irrigação tipo malha (Tratamento 4). Rio Paranaíba-MG.



Figura 06 - Sistema de uso sob pivô central, com cultivo de hortaliças, cereais e braquiária em manejo intensivo do solo, com subsolagem, gradagem e enxada rotativa há 22 anos (Tratamento 5). Rio Paranaíba-MG.



Figura 17 - Amostras indeformadas colocadas na mesa de tensão. Rio Paranaíba-MG.



Figura 11 - Amostras indeformadas colocadas em estufa de ar de circulação forçada. Rio Paranaíba-MG.