UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - REGIONAL JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO

Ciro Alberto de Oliveira Silva
Engenheiro Florestal

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL
Maio de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

[X] Dissertação [ ] Tese

2. Nome completo do autor: CIRO ALBERTO DE OLIVEIRA SILVA

3. Título do trabalho: ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [ ] NÃO[1]

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:
a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.
O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.
Casos de embargo:
- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

Documento assinado eletronicamente por **Hildeu Ferreira Da Assunção**, **Professor do Magistério Superior**, em 23/06/2020, às 10:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **CIRO ALBERTO DE OLIVEIRA SILVA**, **Discente**, em 23/06/2020, às 20:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1395040** e o código CRC **42436B42**.

Referência: Processo nº 23070.020426/2020-11 SEI nº 1395040

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - REGIONAL JATAÍ

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO

Ciro Alberto de Oliveira Silva

Orientador: Prof. Dr. Hildeu Ferreira da Assunção

Co-Orientador: Prof. Dr. Simério Carlos Silva Cruz

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Maio de 2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Silva, Ciro Alberto de Oliveira
ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO [manuscrito] / Ciro Alberto de Oliveira Silva. - 2020.
vi, 73 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Hildeu Ferreira da Assunção; co-orientador Dr. Simério Carlos Silva Cruz.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Ciências Agrárias, Jataí, Programa de Pós Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, Jataí, 2020.
Bibliografia. Apêndice.
Inclui siglas, mapas, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Atributos do solo. 2. Conservação. 3. Modelagem. 4. Sustentabilidade. I. Assunção, Hildeu Ferreira da , orient. II. Título.

CDU 632

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

UNIDADE ACADÊMICA ESPECIAL DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 012/2020-PPGA da sessão de Defesa de Dissertação de **CIRO ALBERTO DE OLIVEIRA SILVA**, estudante de mestrado no **Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA**, área de concentração **Produção Vegetal.**

Ao vigésimo oitavo dia do mês de maio do ano de dois mil e vinte, a partir das 13 horas e 30 minutos, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "**ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO**". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Hildeu Ferreira da Assunção (UAECIAGRA-UFJ), com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Cláudio Hideo Martins da Costa (UAECIAGRA-UFJ) - membro interno e Professora Doutora e Paula Camylla Ramos Assis (Centro Universitário UNA - JATAÍ/GO) - membro externo. Após a arguição do candidato, os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora se reuniu em sessão secreta, a fim de concluir o julgamento da dissertação em andamento, tendo sido o candidato **Aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor Hildeu Ferreira da Assunção, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao vigésimo oitavo dia do mês de maio do ano de dois mil e vinte.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Documento assinado eletronicamente por **Hildeu Ferreira Da Assunção**, **Professor do Magistério Superior**, em 28/05/2020, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Claudio Hideo Martins Da Costa**, **Professor do Magistério Superior**, em 28/05/2020, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **PAULA CAMYLLA RAMOS ASSIS**, **Usuário Externo**, em 28/05/2020, às 16:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1305493** e o código CRC **78E9B5DA**.

Referência: Processo nº 23070.020426/2020-11 SEI nº 1305493

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CIRO ALBERTO DE OLIVEIRA SILVA – nascido em 19 de março de 1990 em Jataí – Goiás, filho de Célio Franco de Oliveira e Clênia Ferreira Silva Oliveira, concluiu seus estudos em nível fundamental na Escola Polivalente Dante Mosconi (2004), e o ensino médio no Centro de Ensino Superior de Jataí (2007). Em 2009 ingressou na Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí no curso de Engenharia Florestal, onde em 2015 obteve o título de Bacharel. Em março de 2016 foi contratado pela BRASIL FLORESTAL na qual foi Supervisor de Inventário Florestal por 12 meses e posteriormente atuando como consultor em projetos florestais e meio ambiente. Em fevereiro de 2018 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), na Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí na área de Produção Vegetal.

"Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados."

Mahatma Gandhi

Aos meus pais Célio e Clênia pelo amor, carinho, paciência e empenho durante toda a minha vida e pelas incontáveis formas de apoio durante essa árdua caminhada. Amo vocês. À minha Irmã Letícia e aos meus familiares pelo incentivo e amor imensurável.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao Pai celestial o grande arquiteto do universo que me protege e me guia pelos caminhos do mundo adulto, me proporcionando saúde e capacidade de lutar.

Aos meus pais, pelas incontáveis formas de amor e carinho, sempre provendo o melhor pelo desenvolvimento e crescimento dos filhos.

Aos meus amigos, pelo apoio na execução de tarefas, pelo companheirismo nas rodas de conversa e por suportarem por muitas vezes as lamúrias durante esse período de pós-graduação.

À minha família, Irmã, tios, tias, primos pela amizade e amor dedicados e por acreditarem em mim.

Ao meu orientador professor Doutor Hildeu Ferreira da Assunção, por acreditar que eu era capaz de realizar o projeto, pelas indagações e pensamento crítico e principalmente pela brilhante orientação.

Aos demais professores e técnicos do Programa de Pós-graduação em Agronomia de UFG-Regional Jataí, pela amizade construída e pelas dicas e apoio.

Aos meus queridos colegas e amigos de mestrado, meu muito obrigado por compartilharmos momentos inesquecíveis.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS iii

LISTA DE FIGURAS v

LISTA DE TABELAS vi

ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO 1

RESUMO 1

QUALITY INDEX OF A DYSTROPIC RED LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT ENVIRONMENTS 3

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS 5

1. CERRADO 7
2. SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO 8
3. INDICADORES E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EDÁFICA 10
   - 3.1 Indicadores físicos 12
   - 3.2 Indicadores químicos 12
   - 3.3 Indicadores biológicos 13
4. REFERÊNCIAS 16

CAPÍTULO 2 – EFEITO DE DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO DE UM SOLO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS EM ÁREAS DO CERRADO 22

RESUMO 22

CHAPTER 2 - EFFECT OF DIFFERENT SOIL MANAGEMENT ENVIRONMENTS ON CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES IN CERRADO AREAS 23

1. INTRODUÇÃO 24
2. MATERIAL E MÉTODOS 25
   - 2.1. Identificação e caracterização da área 25
   - 2.2 Análises estatísticas 29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 29
   - 3.1. Atributos físicos 29
   - 3.2. Atributos químicos 31
   - 3.3. Atributos biológicos 34

3.4. Análise das componentes principais 37
4. CONCLUSÕES 41
5. REFERÊNCIAS 42
CAPÍTULO 3 – UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO NA CLASSIFICAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO 49
RESUMO 49
CHAPTER 3 - USE OF THE SOIL QUALITY INDEX IN THE CLASSIFICATION OF A DISTROPHERIC RED LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT ENVIRONMENTS 50
1. INTRODUÇÃO 51
2. MATERIAL E MÉTODOS 52
2.1 Identificação e caracterização da área 52
2.2 Análises estatísticas aplicadas aos índices de qualidade 54
2.3 Determinação dos índices de qualidade de solo 55
2.4 Padronização dos atributos indicadores 57
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES 59
3.1 Índice de qualidade por função de solo 59
3.2. Índice final de qualidade dos solos 64
4 CONCLUSÕES 67
5. REFERÊNCIAS 68
APÊNDICE(S) 74
Apêndice A 75
Apêndice B 77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de componentes principais
CTC	Capacidade de troca de cátions
CN	Cerrado nativo
CO	Carbono orgânico do solo
C-Bm	Carbono da biomassa microbiana
Ds	Densidade aparente do solo
DMP	Diâmetro médio ponderado dos agregados do solo
FE	Fauna edáfica
FDA	Facilitar a movimentação de água e crescimento de raízes
IQS	Índice de qualidade de solo
INMET	Instituto nacional de meteorologia
K	Potássio
LVd	Latossolo Vermelho distroférrico
MO	Matéria orgânica do solo
MPa	Megapascal
m%	Saturação de alumínio
NT	Nitrogênio total
SPD	Sistema plantio direto
P	Pastagem
PEA	Permitir à entrada de água
P-Lábil	Fósforo disponível (mehlich-1)
pH	Potencial hidrogeniônico
RDE	Resistir a degradação estrutural

RP	Resistência à penetração
S	Silvicultura
SP	Sustentar a produtividade
v%	Saturação de bases
VTP	Volume total de poros

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de uso e ocupação do solo da área experimental da Universidade Federal de Goiás – Campus Jatobá/ Cidade universitária e localização da propriedade dentro dos limites do Latossolo Vermelho distroférrico no munícipio de Jataí. 25

Figura 2. Balanço Climatológico Mensal para a região de Jataí-GO. (Precipitação – mm; Temperatura – Graus Celsius); para o período de 1980 a 2018. Fonte:(INMET, 2019) 26

Figura 3. Dispersão gráfica (biplot) das variáveis iniciais em relação aos ambientes de manejo para o Latossolo vermelho distroférrico 38

Figura 4. A equação (3) e (4) geram três tipos de curvas padronizadas, as quais foram usadas para se avaliar a qualidade do solo, a saber: (a) "mais é melhor" (ex, Biomassa microbiana); e (b) "ótimo" (ex, pH), (b) "menos é melhor" (ex,:Densidade do solo). Fonte: (Chaer, 2001). 59

Figura 5. Índices de qualidade por função de solo em cada ambiente de manejo. PEA – permitir a entrada de água; FDMA – facilitar a movimentação da água e crescimento radicular; RDE – resistir a degradação estrutural; SQP- sustentar a qualidade e a produtividade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Skott-knott (p<0,05); ns* - não significativo ; Barra de erros: Desvio padrão 60

Figura 6. Gráfico da normalização dos indicadores físicos do solo para os ambientes de manejo. DMP- diâmetro médio ponderado; RP – resistência a penetração; VTP- volume total de poros; DS- densidade do solo. Barra de erros: erro padrão da média 61

Figura 7. Gráfico da normalização dos indicadores biológicos do solo para os ambientes de manejo. CBM- carbono da biomassa microbiana; CO – Carbono orgânico; MO- matéria orgânica; FE – fauna edáfica; Barra de erros: Erro padrão da média.....62

Figura 8. Gráfico da normalização dos indicadores químicos do solo para os ambientes de manejo. pH – potencial hidrogeniônico; m% - saturação de alumínio; v% saturação por bases; NT- nitrogênio total; P-lábil – fósforo; K – Potássio; CTC- capacidade de troca de cátions; barra de erros: Erro padrão da média 63

Figura 9. Box-plot dos índices de qualidade do solo para os 5 ambientes de manejo avaliados. Barras de erro: +/- intervalo de confiança; centro: média geral; caixa: +/- Erro padrão da média.....65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo e métodos utilizados para sua determinação 28

Tabela 2. Atributos físicos indicadores, Ds – Densidade do solo; VTP – volume total de poros; RP- resistência à penetração mecânica do solo; DMP- Diâmetro médio ponderado dos agregados na camada de 0 a 20 centímetros 29

Tabela 3.Indicadores químicos de qualidade: pH – potencial hidrogeniônico, v% - saturação de bases; m% - saturação de alumínio, P - lábil – teor de fósforo; K – teor de potássio; NT- Nitrogênio total; CTC pH 7,0 – capacidade de troca de cátions 32

Tabela 4. Indicadores biológicos: CO – carbono orgânico; MO- Matéria orgânica; C-Bm – Carbono da Biomassa microbiana e FE -Fauna edáfica 35

Tabela 5. Resultados das análises dos componentes principais 39

Tabela 6. Agrupamento das variáveis por função de solo e pesos adotados para ponderação dos indicadores de solo. 56

Tabela 7. Valores limites utilizados para padronização dos indicadores de qualidade do solo 58

Tabela 8. IQS por função do solo e IQS total para os 5 ambientes de uso do solo avaliados 66

ÍNDICE DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO

RESUMO - O índice de qualidade do solo (IQS) é uma ferramenta de análise edáfica a fim de monitorar mudanças nas propriedades e nas funções do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental, que ocorram no tempo, em resposta ao uso da terra e as práticas de manejo. O IQS utiliza atributos químicos, físicos e biológicos como parâmetros de análise, cuja importância está relacionada com as funções que capacitam o solo a integração das suas propriedades, que o habilita a exercer suas funções na plenitude. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade edáfica de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a sistemas de manejo, fazendo uso do IQS como ferramenta de análise. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 diferentes ambientes: Cerrado Nativo (CN); Plantio Direto (SPD); Silvicultura (S); Pastagem (P); e Agro Floresta (AF). Foram tomadas 3 amostras, na camada de 0 a 20 cm para cada ambiente. As variáveis químicas (pH, m%, v%, Nitrogênio total, CTC e teores de K e P-lábil), físicas (Volume total de poros, Resistência à penetração, Densidade, Diâmetro médio de agregados) e biológicas (Fauna edáfica, Matéria orgânica, Carbono orgânico e Carbono da Biomassa microbiana) foram organizadas e analisadas com auxílio do aplicativo GENES, submetendo-as à análise de variância e a discriminações pelo teste de Tukey ($p<0,05$) e então submetidas a análise de componentes principais e agrupamento dos ambientes pelo método de Tocher. Posteriormente, as variáveis foram organizadas de acordo com sua importância em cada função de solo: (PEA - Permitir a entrada de água, FDA - Facilitar o movimento e a disponibilidade de água, RDE - Resistir à degradação estrutural e SQP – Sustentar a qualidade e a produtividade) e inseridas no modelo geral de IQS para análise de variância e classificação da qualidade. As reduções das variáveis físicas e biológicas indicam a perda da qualidade do solo para ambientes com uso intensivo através da presença da pressão antrópica. A avaliação química dos solos mostra aumento da disponibilidade de nutrientes e redução da acidez e toxidez para todos os ambientes em comparação aos solos do Cerrado. Nenhum dos antropizados apresenta agrupamento com a área de Cerrado nativo. A análise de componentes principais aponta que os atributos biológicos e físicos formam indicadores de qualidade com

maiores contribuições na discriminação dos ambientes. Enquanto Agrofloresta e cerrado nativo possuem os maiores índices de qualidade final destacando-se Agrofloresta com qualidade “ótima”, os demais sistemas plantio direto, silvicultura e pastagem, foram classificados como de qualidade “média”.

Palavras Chave: Modelagem, Atributos dos solos, Conservação

QUALITY INDEX OF A DYSTROPIC RED LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT ENVIRONMENTS

SUMMARY - The soil quality index (SQI) is an edaphic analysis tool in order to monitor changes in soil properties and functions, sustainability and environmental quality, which occur over time, in response to land use and management practices. The SQI uses chemical, physical and biological attributes as parameters of analysis, whose importance is related to the functions that enable the soil to integrate its properties, which enables it to perform its functions in fullness. Therefore, the objective of this work was to evaluate the edaphic quality of a dystrophic Red Latosol, submitted to management systems, using SQI as an analysis tool. The experimental design used was completely randomized, with 5 different environments: Cerrado Nativo (CN); No-tillage (NT); Forestry (T); Pasture (P); and Agroforestry (AF). Three samples were taken in the 0 to 20 inch layer for each environment. The chemical variables (pH, m%, v%, Total Nitrogen, CTC and K and P-laile contents), physical (Total pore volume, Penetration resistance, Density, Average diameter of aggregates) and biological (Edaphic Fauna, Organic Matter, Organic Carbon and Microbial Biomass Carbon) were organized and analyzed with the aid of the GENES application, subjecting them to variance analysis and discrimination by Tukey test ($p<0.05$) and then submitted to principal component analysis and grouping of environments by tocher method. Subsequently, the variables were organized according to their importance in each soil function: (PEA - Allow water entry, FDA - Facilitate the movement and availability of water, RDE - Resist structural degradation and SQP - Sustain quality and productivity) and inserted in the general IQS model for analysis of variance and quality classification. The reductions of the physical and biological variables indicate the loss of soil quality for environments with intensive use through the presence of anthropic pressure. The chemical evaluation of the soils shows increased availability of nutrients and reduction of acidity and toxicity for all environments compared to cerrado soils. None of the anthropized patients presented a grouping with the native Cerrado area. Principal component analysis indicates that biological and physical attributes form quality indicators with greater contributions to the discrimination of environments. While Agroforestry and native cerrado have the highest final quality indexes, especially

Agroforestry with "optimal" quality, the other no-tillage, forestry and pasture systems were classified as "medium" quality.

Keywords: Modeling, Soil Attributes, Conservation

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A qualidade do solo tem sido definida como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana (Doran & Parkin, 1994).

A qualidade dos solos é o método mais eficaz para garantir alimentos suficientes para sustentar a vida. De acordo com Wundt et al. (2013), somente depois que as necessidades fisiológicas básicas do ar, da água e da comida forem satisfeitas, a humanidade começa a considerar sua segurança e outras qualidades da vida, como a ambiente em que vivem. Lowdermilk (1953) afirma que a saúde do solo de uma nação afeta diretamente a segurança nacional e a liberdade do povo. Ele também sugeriu que é responsabilidade de todos os povos dentro de uma nação para salvaguardar a integridade do recurso do solo.

Em concordância com as preocupações humanas sobre necessidades básicas, Karlen et al (1997) definiu que as cinco premissas de qualidade dos solos são: 1 – Promover atividade biológica, diversificada e produtividade; 2 – Regular o fluxo das águas; 3 – Filtragem, tamponamento imobilização e desintoxicação de elementos orgânicos e inorgânicos; 4 – Armazenamento e ciclagem de nutrientes inerentes da biosfera; 5 – Apoio ao desenvolvimento socioeconômico dos seres humanos.

Visto que a qualidade pode ser então observada de duas maneiras: (1) como propriedades inerentes de um solo; e (2) como a natureza dinâmica dos solos influenciados pelo clima e o uso e manejo humano (Karlen et al., 1997). Com relação às propriedades inerentes, um solo é um resultado dos fatores de formação do solo - clima, topografia, vegetação, material parental e tempo (Karlen et al., 1997). Ou seja, cada solo tem uma capacidade íntrinseca para funcionar, alguns são naturalmente mais férteis ou ainda apresentam uma melhor regulação de distribuição de água mais eficazes do que outros.

A segunda maneira de acordo com Karlen et al., (1997) é influenciada pelo dinamismo dos solos em decorrência do clima e pelo ambiente antrópizado, tem papel relevante na qualidade. Isso fica evidenciado, por exemplo, quando se maneja uma área em declive e não se realiza medidas mitigadoras que impeçam o escorrimento superficial da água, principal causadora de erosões. Essa gestão, influenciada

antropicamente gera perdas das camadas superficiais do solo, e consequentemente sua redução capacidade de funcionamento.

Segundo Tótola & Chaer (2002) o solo por apresentar-se como recurso essencial para o desenvolvimento da espécie humana a milhares de anos, principalmente quando se começou a desenvolver o cultivo de plantas, tem papel de destaque na agricultura, tanto para a produção de alimentos e fibras quanto para o funcionamento dos ecossistemas globais, dependentes de mais de uma centena de atributos que afetam, direta ou indiretamente o desempenho de suas funções na plenitude. Com isso, para a avaliação dessa gama de atributos devem ser selecionados indicadores mensuráveis de qualidade do solo. Por exemplo utilização de fatores de natureza física (estrutura e mobilidade da água), de atributos químicos ou mineralógicos (disponibilidade de nutrientes as plantas), atributos biológicos (reciclagem de nutrientes), além de fatores climáticos não diretamente ligados ao solo, porém que influenciam nas relações existentes. Tais indicadores participam na determinação dos índices de qualidade dos solos.

De acordo com Burger & Kelting (1999), os índices de qualidade do solo podem ser obtidos por meio de um modelo matemático que inclua os atributos do solo considerados. Assim, a soma dos efeitos dos atributos selecionados (quantificados pelos seus respectivos indicadores), que são determinantes da qualidade do solo de um dado ambiente, é expressa no índice de qualidade. A qualidade desses atributos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (Doran & Parkin, 1994).

Diante disso, a variação desses atributos, determinada pelo uso do solo, e sua avaliação são importantes na determinação de estratégias de manejo que garantam a sustentabilidade dos agroecossistemas. Essa avaliação é complexa e deve ser realizada em função de um conjunto de indicadores específicos (atributos) e suas inter-relações, já que a avaliação de indicadores isolados não é suficiente para explicar a perda ou o ganho potencial da qualidade de um determinado sítio.

Portanto, o objetivo proposto é de verificar a validade da existência de diferenças significativas entre os índices de qualidade do solo para os ambientes de manejo estudados, além de identificar os indicadores resposta com maior ponderação nas mudanças ocorridas em solos antropizados ao serem comparados a um solo

típico de cerrado natural, sugerindo inferências importantes no uso do Latossolo vermelho distroférrico, para a região de Jataí – GO.

1. CERRADO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km2, cerca de 22% do território nacional (MMA, 2019). O Cerrado transformou-se no principal bioma de produção agrícola do país, sendo hoje uma das maiores áreas cultivadas do mundo (Siqueira Neto et al., 2009). Com práticas de calagem e adubação, grande parte dos solos do Cerrado pode ser cultivada. No entanto, o monocultivo e outras práticas inadequadas têm causado perda de produtividade e degradação do solo, (Siqueira Neto et al., 2009).

Segundo o mapeamento realizado pelo projeto de mapeamento de uso e cobertura de terras do Cerrado (TerraClass Cerrado 2013) (MMA, 2015), aproximadamente 44% de sua área já havia sido antropizada, com a classe mais expressiva de uso de terras ocupada com pastagem plantada, seguida pela agricultura anual e perene.

As características climáticas deste bioma são peculiares. Em sua grande parte, possui duas estações bem definidas, uma chuvosa, que se inicia entre os meses de setembro e outubro e se estende até março e abril e outra estação seca, que se inicia nos meses de abril e maio e se estende até setembro e outubro. A estação seca é caracterizada pela deficiência hídrica causada pela drástica redução nas ocorrências de chuva (Da Silva et al., 2008).

Segundo Alvares et al. (2013), em sua atualização da classificação climática de Köppen para o Brasil, ocorrem seis tipos de clima no bioma Cerrado, sendo três na zona tropical, um na zona seca/árida e dois na zona subtropical úmida ou temperada (Quadro 1).

Quadro 1. Descrição das zonas climáticas encontradas no Bioma Cerrado

Zona	Descrição geral	Código	Descrição específica
Tropical	Climas megatérmicos; temperatura do mês mais frio do ano ≥ 18°C;	*As*	Clima de monções
		Am	Inverno seco e chuvas máximas no verão
		Aw	Verão seco e chuvas de inverno
Seca/árida	Climas secos	*Bsh*	Clima de estepes de baixas latitudes e altitudes
Subtropical úmida/ temperada	Climas mesotérmicos; temperatura do mês mais frio entre -3 °C e 18 °C	*Cwa*	Inverno seco e verão quente
		Cwb	Inverno seco e verão temperado

Fonte: (Alvares et al., 2013).

Já os solos do Cerrado, apresentam grande variedade com 38 classes existentes, entre as quais mais se predomina a classe dos Latossolos. (Embrapa, 2012).

Em relação aos LATOSSOLOS VERMELHOS distroférrico do presente estudo, são um tipo de solos caracterizados por apresentarem saturação por bases baixa (v < 50%) e teores de óxidos de ferro (FE_2O_3 (pelo H_2SO_4) de 180g/kg a <360g/kg na maior parte dos primeiros 100 centímetros do horizonte B (Embrapa, 2013).

Portanto é importante a caracterização pedológica desses solos quando cultivados e adequação ao seu potencial agrícola através de sistemas de manejo que visam a melhoria e/ou manutenção de suas propriedades físicas, químicas e biológicas para se evitar a queda potencial da sua qualidade.

2. SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO

O setor agropecuário brasileiro passou por modificações ao longo dos anos e a busca da sustentabilidade da produção tornou-se uma meta a ser atingida e associada à evolução dos sistemas de produção, sendo economicamente viáveis aos produtores rurais, mantendo ou aumentando a produção, promovendo a proteção do meio ambiente, e garantindo o desenvolvimento social (Torres et al., 2018).

A substituição dos ecossistemas naturais por agroecossistemas manejados provocam impacto direto no ciclo biogeoquímico, assim como nos estoques de

carbono (C) orgânico do solo, podem ocasionar alterações nos seus atributos físicos, químicos e biológicos, expressando uma perda de qualidade, afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (Reichert et al., 2003; Carneiro et al., 2009; Niero et al., 2010).

A importância de se avaliar os sistemas de manejo do solo torna-se fundamental. O Sistema de Plantio Direto (SPD), por exemplo, preconiza que o solo passe a ter uma cobertura permanente, a semeadura é localizada, com mínimo revolvimento do solo, realizando rotação de culturas (Nunes, 2014) garantindo a proteção, a conservação e promoção dos estoques de carbono e a qualidade do solo (Dadalto et al., 2015; Reis et al., 2019).

O brasil tem grande destaque na produção mundial de carne bovina em que a maior parte do rebanho é criado à pasto; mapeamentos recentes mostraram que as pastagens cultivadas ocupam 16% (137,3 milhões de hectares - Mha) e 24% (48,6 Mha) do território brasileiro e do bioma Cerrado, (Silva, 2019). Visto que a superexploração das áreas de pastagem, sem o correto dimensionamento das unidades animais por área, em conjunto com ausência quase sempre comuns da correção de solo e adubação, tem papel preponderante na redução da produtividade de extensas áreas de pastagem, em geral promovendo a perda da qualidade dos solos e aumentando a fragilidade química e física, causando degradação.

O uso dos solos, sobretudo em extensas áreas agrícolas, como as observadas no Cerrado, tem causado modificações nos teores de matéria orgânica, na biomassa e na atividade microbiana do solo, evidenciando processo de degradação, que podem ser mitigados através de manejos que possibilitem incrementos de matéria orgânica e carbono no solo (Rossi et al., 2011). Os sistemas agroflorestais por exemplo, são sistemas baseados na sucessão ecológica, onde são consorciadas culturas agrícolas e florestais e, dentre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os sistemas agrossilviculturais são aqueles que acumulam maior ativo de biomassa. Sendo assim, a compreensão e a quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade são fundamentais no desenvolvimento de agroecossistemas sustentáveis (Araújo et al., 2007; Bavoso et al., 2010).

3. INDICADORES E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EDÁFICA

Os indicadores do solo são ferramentas que permitem o monitoramento de qualidade e do estado do solo a médio e longo prazo e devem ser de fácil replicação e mensuração em condições de campo, devem ser sensíveis às variações de manejo (Parron et al., 2015). Além de serem confiáveis metodologicamente e envolverem baixos custos na sua mensuração. Os indicadores podem ser utilizados em duas avaliações distintas ou complementares: uma avalia a variação do indicador do solo no tempo dentro de um sistema e a outra compara diferentes sistemas entre si. Portanto, a definição e delimitação dos indicadores precisam estar relacionadas fundamentalmente com os processos de transformação daquele manejo em questão (Maia et al., 2013).

Identificar indicadores que atendam ao conceito de qualidade do solo é difícil devido às várias características químicas, físicas e biológicas que controlam os diferentes processos biogeoquímicos e suas variações em decorrência do tempo e do espaço (Pinto, 2014). Para isso, a variação dos atributos do solo na vegetação nativa é muito menor quando comparada com a dos solos de uso agrícola, podendo ela ser considerada um referencial, contribuindo para a avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas (Tótola & Chaer, 2002).

Assim, o estudo dos atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e a duração das alterações provocadas por diferentes sistemas de manejo. Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer se houve degradação ou melhoria da qualidade do solo em relação a um sistema de manejo determinado (Reichert et al., 2009).

Para a avaliação dessa gama de atributos devem ser selecionados indicadores mensuráveis de qualidade. Por exemplo, como indicadores físicos: Densidade, Porosidade, Agregação e Capacidade de Armazenamento de Água; como indicadores químicos: Teores de fósforo e nitrogênio total, Matéria orgânica do solo, saturação de bases, CTC, pH; como indicadores biológicos: Biodiversidade, Atividade enzimática do solo, Carbono e Nitrogênio da biomassa microbiana, Quociente metabólico e Taxa de mineralização de nitrogênio, tais indicadores participam na determinação dos índices de qualidade dos solos. Os critérios para a escolha de indicadores devem estar relacionados, principalmente, com sua utilidade em definir processos do ecossistema. (Tótola & Chaer, 2002; Santos & Maia, 2013).

Arshad & Martin (2002) sugerem as seguintes etapas como pressupostos para avaliar a qualidade do solo: a) dividir a região ou área de estudo em diferentes eco regiões; selecionar zonas ecológicas, fazendas ou bacias hidrográficas com solos similares; b) definir o objetivo do estudo sobre a qualidade do solo (produção agrícola, proteção ambiental ou qualquer outro uso); c) eleger um conjunto de indicadores para a área de estudo; selecionar um ponto de referência (linha base) para cada indicador; d) especificar os limites críticos para os indicadores selecionados, que irão variar em função de cada indicador e transformá-los em qualidade do solo/índice de sustentabilidade.

No processo de avaliação da qualidade do solo surgiram vários sistemas quantitativos expressos na forma de índices (Karlen & Stott, 1994; Snakin et al., 1996; Islam e Weil, 2000) e que são considerados importantes dado à facilidade de uso e a possibilidade de uma escala contínua de avaliação.

Dentre os métodos mencionados acima, o conjunto de procedimentos proposto por Karlen & Stott (1994) é o que foi utilizado em maior escala em diversos trabalhos de mensuração da qualidade do solo (Melo filho et al., 2007; Qi et al., 2009; Rahmounipour, 2014). Nesses trabalhos têm sido dada ênfase na integração de indicadores de modo a gerar um valor (índice de qualidade do solo) que possa ser comparado entre várias práticas de manejo, ao longo do tempo, em ambientes agrícolas, florestais e pecuários, e tem demonstrado ser bastante flexível e de relativa facilidade de utilização.

Por fim, o intuito da avaliação da qualidade e saúde de determinado solo busca adoção de estratégias de gestão sustentável, como as apresentadas na maximizando os benefícios dos ciclos naturais, reduzindo a dependência de recursos não renováveis e ajudam os produtores a identificar metas de longo prazo para a sustentabilidade que também atendam às necessidades de produção de curto prazo.

3.1 Indicadores físicos

Dentre os atributos avaliados a investigação dos indicadores físicos da qualidade do solo nas diferentes condições de uso e manejo são fundamentais para entender os processos de degradação dos solos (Ramos et al., 2014). O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a fragilidade a determinada prática agrícola (Cavalieri et al., 2009; Silva et al., 2010).

Os aspectos aplicados à física dos solos estão inter-relacionados aos manejos aplicados no solo, principalmente no contexto de utilização agropecuária (Ramos et al., 2014), ou seja, a condição física é fator primordial na qualidade e expressão final de produtividade de uma área sobre antropização como condicionante na capacidade total do desempenho de determinado cultivo.

Para Stefanoski et al. (2013) os atributos físicos alteráveis são os mais utilizados como indicadores por estarem sujeitos às maiores alterações, em função dos sistemas de manejo. Portanto, conhecendo a interdependência das propriedades físicas do solo, consequentemente, a modificação de uma delas normalmente leva à modificação de todas as demais.

Segundo Mota Freire & Assis Junior (2013) atributos como densidade do solo, porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e condutividade hidráulica podem ser utilizados como indicadores da qualidade física que são alterados pelo uso e manejo do solo. Esses atributos são sensíveis às variações do manejo ao qual o solo está submetido, utilizados como fonte para a interpretação da dinâmica de processos físicos do solo no tempo e no espaço.

3.2 Indicadores químicos

As características químicas do solo apresentam-se como um indicador funcional global, pois explica os processos biogeoquímicos do solo da decomposição da matéria orgânica e mineralização dos nutrientes.

A fertilidade é a capacidade que o solo tem de entregar elementos químicos essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Este é um conceito simples que apresenta pormenores devido às diferentes estratégias nutricionais adotadas pelas espécies de plantas, em relação a capacidade de absorção de nutrientes. Fole

et al. (2011) destacaram que o suprimento insuficiente de nutrientes era o maior problema agronômico em várias regiões. Por outro lado, o excesso de nutrientes tem causado problemas ambientais em outras regiões do mundo.

Considerando que as alterações nos indicadores químicos são processos do desenvolvimento dos sistemas e ocorre em função do tempo e da condução de cada sistema de uso e manejo do solo. A exploração agrícola com o passar do tempo conduz ao aumento da heterogeneidade do solo por meio de modificações, como desmatamento, preparo da terra, alternância de culturas, uso de fertilizantes e incorporação de resíduos orgânicos fazendo com que uma mesma área com cultivo ou não em distintos sistemas de manejos apresente variação nos atributos químicos do solo (Milindro et al., 2016).

Portanto, estratégias de manejo químico podem ser implementadas para aumentar a eficiência do uso de nutrientes para maximizar os benefícios para o sistema planta-solo-atmosfera. Em geral, algumas mudanças no manejo agrícola podem aumentar a eficiência do uso dos nutrientes, tais como: a diminuição de limitações – física, química ou biológica – para o crescimento das plantas; adubações equilibradas; fornecimento adequado de água; ajuste do fornecimento de fertilizantes à demanda das plantas; otimização da dose e época de fornecimento de nutrientes; adubações parceladas; uso de rotação de culturas; e uso de fontes mais eficientes (Chien et al., 2009).

3.3 Indicadores biológicos

Os indicadores biológicos ou bioindicadores, são propriedades ou processos biológicos do solo que indicam o estado de um determinado ecossistema (Doran & Parkin, 1994).

Entre os indicadores de qualidade edáfica, os biológicos são responsáveis por inúmeros processos e funções, como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, e formação de partículas do solo agregadas, através da ação de agentes cimentantes, ligando a estrutura granulométrica (colóides) à matéria orgânica (Hungria et al., 2009; Nunes et al., 2012; Burns et al., 2013).

Com isso, alterações geradas por ação antrópica na qualidade do solo são facilmente detectadas e influenciam no comportamento dos microrganismos. Há casos em que alterações na atividade microbiana causam mudanças nas propriedades químicas e físicas, refletindo sinais na melhoria ou na degradação do solo (Araújo & Monteiro, 2007).

Portanto, a atividade dos microrganismos, como exemplo a biomassa microbiana, definida como todo componente vivo que está presente na matéria orgânica, exceto os da macro e meso fauna, além das raízes das plantas, são indicadores chave que controla funções de suma importância no solo, conforme (Quadro 2).

Estudos na área, (Wardle et al., 1995; Baretta et al., 2003; Alves et al, 2006, Sales et al, 2018; Schallemberger et al, 2019), destacam o efeito dos diferentes tipos de manejo e práticas agrícolas do solo em ambientes naturais e antropizados e sua influência na biota do solo. Podendo apresentar diferentes reações do grupo de organismos de acordo com o tipo de sistema praticado.

De acordo com Alves et al. (2006), destacaram a abundância e diversidade da fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo, realizado no estado de São Paulo em que encontraram maiores valores para as variáveis, nos sistemas de plantio direto em comparação ao plantio convencional.

Portanto, o tipo de manejo e cultivo do solo associado à rotação de culturas pode modificar as características físicas, químicas e biológicas do solo (Balota et al., 1998), promovendo alterações nas populações de organismos que nele habitam, alterações que podem ser podem ser negativas, positivas ou neutras, influenciando no aumento de pragas ou de predadores, conforme o tipo de ambiente proporcionado.

Quadro 2. Processos benéficos aos solos, decorrentes da atividade de organismos biológicos

Processo	Agente/Causa	Benefício no solo
resíduos vegetais	Hemicelulases	(efeito tampão e troca iônica) Melhora nas propriedades físicas
Aumento da disponibilidade de P e demais nutrientes	Populações de microorganismos decompositores Reações redox Solubilização de Fosfatos	Maior produtividade primária e qualidade química do solo Aumento do fluxo de energia e nutrientes entre os sistemas (solo/planta).
Agregação do solo	Fáuna edáfica/ Matéria Orgânica	Estabilização física do solo com a formação de agregados por agentes cimentantes Redução dos processos de erosão hídrica e/ou eólica Aumento na capacidade de armazenamento hídrico dos solos
Atividades simbióticas	Micorrizas	Aumento na agregação do solo, Maior superfície de absorção de nutrientes e água Maior exploração do solo pelas raízes em simbiose

Fonte: modificado de Chaer (2002)

4. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G.; Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, M.V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E.J.B.N.; Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p. 33-43, 2006.

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

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, v.88, n.2, p.153-160, 2002.

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

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 1, p. 227-234, 2010.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P.; MAFRA, Á. L. Fauna edáfica avaliada por armadilhas de catação manual afetada pelo manejo do solo na região oeste catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 2, p. 97-106, 2003.

BURGER, J.A.; KELTING, D.L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. For. **Ecologic Management**, 122:155-166, 1999.

BURNS, R. G.; DE FOREST, J. L.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. Soil Biology and Biochemistry, v. 58, p. 216-234, 2013.

CARNEIRO, M. A. C., SOUZA, E. D. D., REIS, E. F. D., PEREIRA, H. S., & AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A.P.; ARVIDSSON, J.; TORMENA, C.A. Influência da carga mecânica de máquina sobre propriedades físicas de um Cambissolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 477-485, jun. 2009.

.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade de solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos.** (Dissertação Mestrado) Departamento de microbiologia agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 90 p. 2001.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 102, p. 267-322, 2009.

DADALTO, J. P., FERNANDES, H. C., TEIXEIRA, M. M., CECON, P. R., & MATOS, A. T. D. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

DA SILVA, FAM, ASSAD, ED, STEINKE, ET E MÜLLER, AG. Clima do bioma Cerrado. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**, p. 93-148, 2008.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 1-20.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa digital de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SOLOS, 2013. 306p.

FOLE, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTROM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. **Nature,** n. 478, p. 337-342, 2011.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soiltillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, p. 288-296, 2009.

ISLAM, K_R; WEIL, RR Propriedades dos indicadores de qualidade do solo em solos do meio do Atlântico influenciados pelo manejo da conservação. **Revista de conservação do solo e da água**, v. 55, n. 1, p. 69-78, 2000.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical andchemical indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; 52 BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of American**, p. 53-72. (Special Publication, 35). 1994.

KARLEN, D.L., MAUSBACH, M.J., DORAN, J.W., CLINE, R.G., HARRIS, R.F., SCHUMAN, G.E., Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society American Journal**, Madinson, 61, 4-10.1997.

LOWDERMILK, W.C. Conquest of the Land Through Seven Thousand Years. Agriculture Information Bulletin No. 99. **USDA, Soil Conservation Service**, Washington, D.C. 30 p. 1953.

MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H.; RITTL, T. F. Soil organic matter: chemical and physical characteristics and analytical methods: a review. **Current Organic Chemistry**, Hilversum, v. 17, n. 24, p. 2985-2990, 2013.

MELO FILHO, J. F. D., SOUZA, A. L. V., & SOUZA, L. D. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1599-1608, 2007.

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

MILINDRO, I. F.; RODRIGUES, R. A.; SANTOS, M. K. A., SANTOS, V. B. dos Atributos químicos como indicadores de qualidade do solo sob manejo agroecológico. **Cadernos de Agroecologia**, Belém, v. 10, n. 3, p. 1-5, 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013.** MMA: Brasília, 2015. 67 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Biomas do Brasil: Cerrado**. Brasília, 2019 Acesso em 22 de março de 2019: https://www.mma.gov.br/biomas/cerrado.

NIERO, L. A. C., DECHEN, S. C. F., COELHO, R. M., & MARIA, I. C. D. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e

químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

NUNES, L. A. P. L.; LIMA, L. M.; CARNEIRO, R. F. V.; TSAI, S. M.; SALVIANO, A.A.C. Land degradation on soil microbial biomass and activity in Northeast Brazil. **Pedosphere**, v. 22, p. 88 – 95, 2012.

NUNES, M. R., DENARDIN, J. E., FAGANELLO, A., PAULETTO, E. A., & PINTO, L. F. S. Efeito de semeadora com haste sulcadora para ação profunda em solo manejado com plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 627-638, 2014.

PARRON, L. M.; GARCIA J. R.; OLIVEIRA E. B. de; BROWN G. G.; PRADO R. B. **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. 370 p.

PINTO, C. R. O. **Efeito do uso do solo sobre seus atributos na microrregião de Chapadinha-MA.** (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 85 p., 2014.

QI, Y., DARILEK, JL, HUANG, B., ZHAO, Y., SUN, W. E GU, Z. Avaliação de índices de qualidade do solo em uma região agrícola da província de Jiangsu, China. **Geoderma**, v. 149, n. 3-4, p. 325-334, 2009.

RAHMANIPOUR, F., MARZAIOLI, R., BAHRAMI, H. A., FEREIDOUNI, Z., e BANDARABADI, S. R. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. **Ecological indicators**, v. 40, p. 19-26, 2014.

RAMOS, M. R.; N.; FAVARETTO, DIECKOW, J.; DEDECK, R. A.; VEZZANI, F. M.; ALMEIDA, L. de; SPERRIN M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**, Kassel, v. 115, n. 1, p. 131–40, 2014.

REICHERT, J. M; REINERT, DJ; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade dos sistemas agrícolas. **Ciências Ambientais**. V. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J.M; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; RIQUELME, U.F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.

REIS, D. A., PORTELLA, R. B., FAGUNDES, M. O., JÚNIOR, F. R. F., DE SOUZA SANTOS, J. R., BOGIANI, J. C., & PERINA, F. J. Grau de dispersão, biomassa microbiana e carbono orgânico de um latossolo cultivado com soja sob plantio convencional e direto no cerrado (savana) do oeste da Bahia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 363-375, 2019.

ROSSI, C. Q., PEREIRA, M. G., GIACOMO, S. G., BETTA, M., & POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 622-630, 2011.

SALES, E. F., BALDI, A., ROSA, R., ALVES, W. D. S. B., GOMES, C. F., & QUEIROZ, R. B. Fauna edáfica como indicadora da qualidade biológica do solo em dois sistemas de produção de café conilon no norte do Estado do Espírito Santo. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, 2018.

SANTOS, V. M. dos; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, vol. 10, p.195-223, 2013.

SCHALLEMBERGER, J. B., MATSUOKA, M. M. M., PAVEGLIO, S. S., LAZZARETTI, G., BETTIO, I., & DA ROS, C. O. Utilização de Cama de Aviário como Adubo Orgânico na Qualidade Química e Microbiológica do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 580-592, 2019.

SNAKIN, V. V., KRECHETOV, P. P., KUZOVNIKOVA, T. A., ALYABINA, I. O., GUROV, A. F., & STEPICHEV, A. V. The system of assessment of soil degradation. **Soil technology**, v. 8, n. 4, p. 331-343, 1996.

STEFANOSKI, D. C.; MARCHÃO, R.L.; SANTOS, G.G.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, dez. 2013.

SILVA, M. T. B. da.; ANTONIOLLI, Z.I.; PETRERE, C. et al. Influência de larvas de Diloboderus abderus (sturm) na densidade de organismos e características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 347-351, 1997

SILVA, A. P.; TORMENA, C.A; DIAS JR, M. de S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 241-280. 2010.

SILVA, J. R. **Dinâmica do carbono em solos sob áreas de pastagens no bioma cerrado.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós graduação em Geografia, Goiânia, 128p. 2019.

SIQUEIRA NETO, M.; M. PICCOLOPICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JR, C.; CERRI, C. C. CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.709-717, 2009.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 416 p. 2004.

TORRES, J. L. R.; MAZETTO JÚNIOR, J. C.; SILVA JÚNIOR, J.; VIEIRA, D. M. S.; SOUZA, Z.M.; ASSIS, R. L.; LEMES. E.M. Soil physical attributes and organic matter accumulation under no-tillage systems in the Cerrado. Soil Research, v.57, n.7, p.712-718, 2018.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 196-275.

WUNDT, W. **Psychology's struggle for existence: Second edition**, 1913 (J. T. Lamiell, Trans.). History of Psychology, Washington, v. 16, p.197–211. 2013.

CAPÍTULO 2 – EFEITO DE DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO DE UM SOLO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS EM ÁREAS DO CERRADO

RESUMO - O solo é o componente fundamental dos ecossistemas terrestres desempenhando funções importantes para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental. Entretanto, a utilização de práticas de manejo inadequadas tem acelerado o processo de degradação dos solos através da ação antrópica. Os atributos físicos, químicos e biológicos são fatores chave a fim de avaliar mudanças nos processos do solo, que ocorram em resposta ao uso da terra e aos ambientes de manejo. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos do manejo de um Latossolo Vermelho distroférrico sobre propriedades intrínsecas desse solo, bem como identificar indicadores para determinação da qualidade edáfica. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 diferentes ambientes: Cerrado Nativo (CN); Plantio Direto (SPD); Silvicultura (S); Pastagem (P); e Agro Floresta (AF). Foram tomadas 3 amostras, na camada de 0 a 20 cm para cada ambiente. As variáveis químicas (pH, m%, v%, Nitrogênio total, CTC e teores de K e P-lábil), físicas (Volume total de poros, Resistência à penetração, Densidade, Diâmetro médio de agregados) e biológicas (Fauna edáfica, Matéria orgânica, Carbono orgânico e Carbono da Biomassa microbiana) foram organizadas e analisadas com auxílio do aplicativo GENES, submetendo-as à análise de variância e a discriminações pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Também foram efetuadas análises de componentes principais para identificação dos indicadores e agrupamento dos ambientes similares. Diferenças na resistência à penetração (RP) e no volume total de poros (VTP) foram observadas. Tais alterações não foram notadas na densidade (DS), nem no diâmetro médio ponderado (DMP). Para os atributos biológicos foi notado redução do carbono da biomassa microbiana (C-Bm) para os ambientes SPD, P e S. Para as variáveis CO, MO e FE diferenças significativas não foram observadas. Enquanto os ambientes de cerrado nativo e silvicultura não causaram mudanças nas propriedades químicas, notou-se redução da acidez e toxidez e aumento da disponibilidade de nutrientes para SPD, P e AF. A análise de componentes principais aponta que os atributos físicos e biológicos formam indicadores da qualidade com maiores contribuições na diferenciação dos ambientes.

Palavras Chave: Atributos dos solos, Sustentabilidade, Conservação

CHAPTER 2 - EFFECT OF DIFFERENT SOIL MANAGEMENT ENVIRONMENTS ON CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL ATTRIBUTES IN CERRADO AREAS

SUMMARY - Soil is the fundamental component of terrestrial ecosystems, performing important functions to guarantee economic and environmental sustainability. However, the use of inadequate management practices has accelerated the process of soil degradation through anthropic action. Physical, chemical and biological attributes are key factors in order to assess changes in soil processes, which occur in response to land use and management environments. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effects of the management of a dystrophic Red Oxisol on intrinsic properties of this soil, as well as to identify indicators for determining edaphic quality. The experimental design used was completely randomized, with 5 different environments: Cerrado Nativo (CN); No-till (NT); Forestry (F); Pasture (P); and Agro Floresta (AF). 3 samples were taken, in the 0 to 20 cm layer for each environment. The chemical (pH, m%, v%, total nitrogen, CTC and K and P-labile contents), physical (total pore volume, penetration resistance, density, average aggregate diameter) and biological (edaphic fauna, Organic matter, organic carbon and microbial biomass carbon) were organized and analyzed with the aid of the GENES application, subjecting them to analysis of variance and discrimination by Tukey's ($p < 0.05$). Principal component analyzes were also carried out to identify the indicators and group similar environments. Differences in resistance to penetration (RP) and total pore volume (VTP) were observed. Such changes were not noticed in the density (DS), nor in the weighted average diameter (DMP). For the biological attributes, a reduction in the carbon of the microbial biomass (C-Bm) was observed for the SPD, P and S environments. For the variables CO, MO and FE, no significant differences were observed. While the native cerrado and forestry environments did not cause changes in chemical properties, there was a reduction in acidity and toxicity and an increase in the availability of nutrients for SPD, P and AF. The main component analysis points out that the physical and biological attributes form quality indicators with greater contributions in differentiating the environments.

Keywords: Soil attributes, Sustainability, Conservation

1. INTRODUÇÃO

O solo é fundamental como componente dos diversos ecossistemas terrestres (Welc et al., 2012) abrigando processos e reações físicas, químicas e biológicas com desempenho em diversas funções-chave nos ambientes (Chaer et al., 2009). O equilíbrio do solo tem sido constantemente perturbado por ações antrópicas inadequadas, as quais proporcionam a acelerada degradação e a redução das características naturais (Claassens et al., 2008; Kaschuk; Alberton; Hungria, 2010).

O Bioma Cerrado apresenta grande parte de sua vegetação nativa convertida em áreas de produção agrícola, principalmente nas áreas de chapadas (Ferreira et al., 2009, Carneiro et al 2013).

Uma conseqüência da conversão do cenário de florestas e pastagens nativas para áreas de cultivo é a superexploração dos agroecossistemas (Qi et al., 2009), exercendo uma influência importante nas propriedades intrínsecas do solo (Rahmanipour et al., 2014). Com isso, as alterações do ambiente são importantes no desenvolvimento econômico e social dessas regiões, mas em alguns casos ambientalmente instáveis.

Um melhor conhecimento dos atributos indicadores da qualidade de um solo é importante para melhorar a gestão sustentável do uso da terra (McGrath e Zhang, 2003), fornece sinais precoces de mudanças adversas, identificar problemas e fornecem uma base valiosa contra quais medidas subsequentes e futuras podem ser evitadas. A essencialidade na avaliação das condicionantes edáficas é fundamentada na capacidade da terra para fins de produção, conservação e gestão ambiental (Pieri et al., 1995; Stamatiadis et al.,1999)

Com isso e estimulado pela conscientização de que o solo é um recurso vital para a humanidade (Doran et al., 1996), bem como pela constatação de que processos de degradação dos solos causados pelas alterações dos ambientes naturais por sistemas de manejo agrícola, florestal e pecuário tem-se intensificado pela utilização de operações inadequadas em uma porção considerável dos solos do bioma Cerrado.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos dos ambientes plantio direto, pastagem, silvicultura e agrofloresta em um Latossolo Vermelho distroférrico sobre os atributos químicos, físicos e biológicos, bem como identificar os atributos indicadores da qualidade edáfica com maior contribuição da discriminação dos ambientes, tendo a área de Cerrado Natural como referência.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Identificação e caracterização da área.

Este estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Goiás, na Regional Jatai/Campus Jatobá – Cidade Universitária, (Figura 1), onde predomina o Latossolo Vermelho distroférrico, de textura argilosa (Santos et al., 2018).

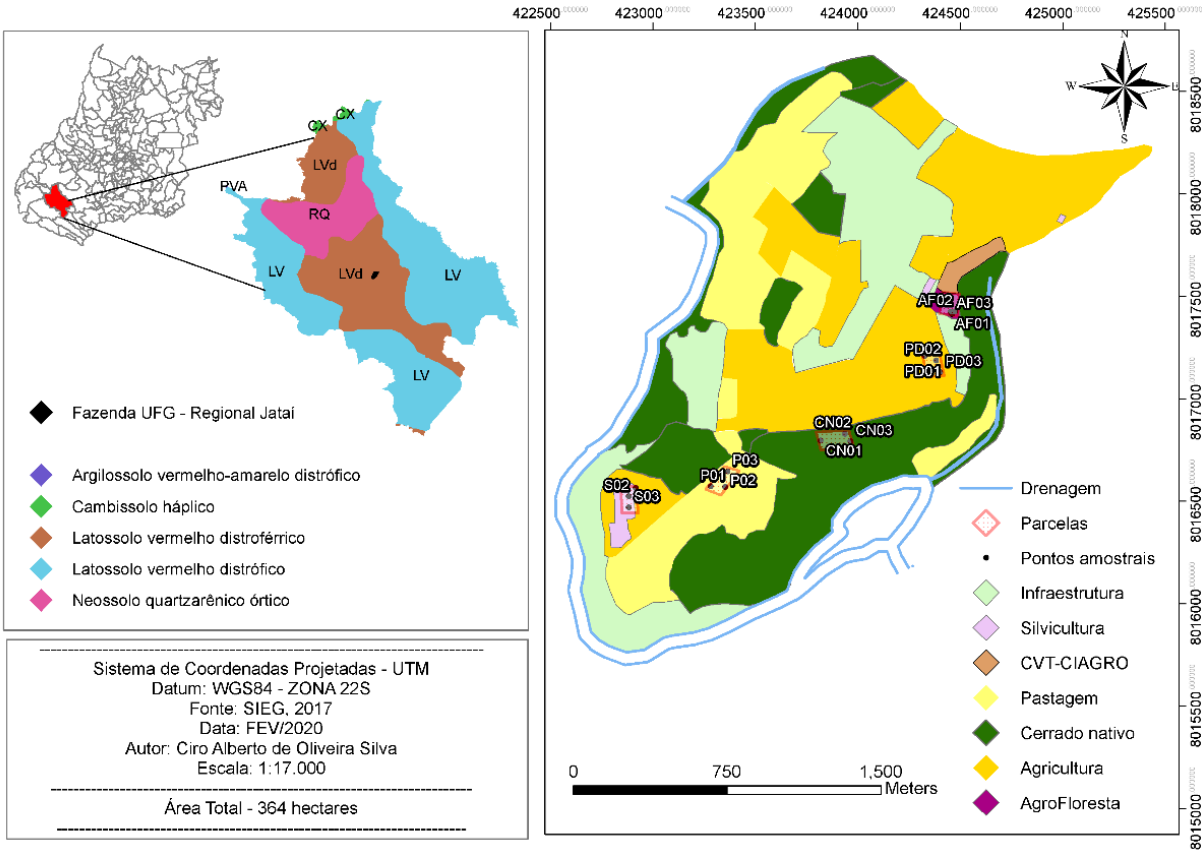

Figura 1. Mapa de uso e ocupação do solo da área experimental da Universidade Federal de Goiás – Campus Jatobá/ Cidade universitária e localização da propriedade dentro dos limites do Latossolo Vermelho distroférrico no munícipio de Jataí. Escala: 1: 17.000.

O clima desta região é caracterizado, de acordo com a classificação de Koppen, como Aw ou Tropical de Savana, com chuvas concentradas no verão e seca persistente no inverno (Alvares et al., 2013). A temperatura média anual varia de 18 a 25° C e a pluviometria média anual oscila em torno de 1.600 mm. (Figura 2).

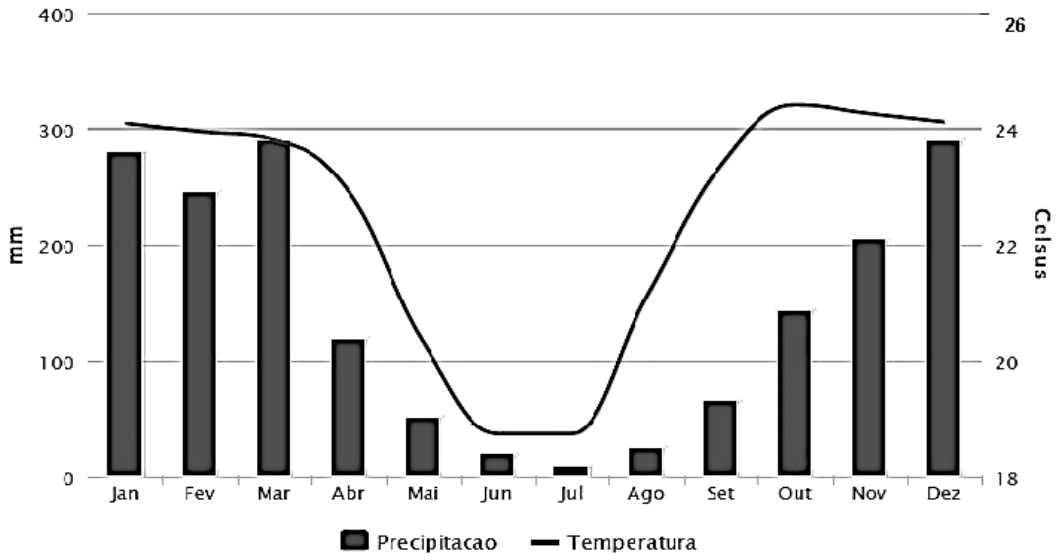

Figura 2. Balanço Climatológico Mensal para a região de Jataí-GO. (Precipitação – mm; Temperatura – Graus Celsius); para o período de 1980 a 2018. Fonte:(INMET, 2019).

Para amostragem experimental nos ambientes de uso e manejo (Quadro 3), foi adotado o Delineamento Inteiramente Casualizado com 5 tratamentos: Cerrado Nativo (CN); Plantio Direto (SPD); Silvicultura (S); Pastagem (P); e Agro Floresta (AF); em 3 repetições.

Os espaços amostrais do experimento foram delimitados em parcelas de 1 hectare. Dentro de cada sistema de manejo, foram coletadas 3 amostras de solo nas profundidades de 0-20cm. Os pontos amostrais por parcela foram espacialmente aleatorizados e georreferenciados.

Quadro 3. Histórico dos ambientes sob diferentes usos e manejos do solo em um Latossolo Vermelho distroférrico (Lvd).

Uso e Manejo do solo	Descrição
	Latossolo Vermelho distroférrico (LVd)
Cerrado Nativo (CN)	Área (20 ha) com mata fechada com serapilheira espessa, sem intervenção antrópica, utilizado como referência. Conteúdo médio de Areia, Silte e Argila: 332,6; 196,2 e 471,2 g kg^{-1}
Plantio direto (SPD)	A partir de 2004 a área (14,9 ha) tem sido utilizada com rotação de culturas, soja + sorgo e soja + milho em sistema de plantio direto. Nos anos de 2014 e 2016 foi realizada calagem em área total, utilizando 2 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico, além de adubação corretiva com 30 kg ha^{-1} de K_2O e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5. Conteúdo médio de Areia, Silte e Argila:189,5; 192,6 e 617,9 g kg^{-1}
Silvicultura (S)	Até 2011 a área de (3 ha) se apresentava como pastagem cultivada com sinais de degradação, nesta área a pastagem anterior do gênero *Brachiaria (Syn. Urochloa)* foi dessecada e em novembro de 2012 foi implantando a cultura do eucalipto em sistema de subsolagem e coveamento. Na adubação de plantio foi utilizada a formulação NPK 04-14-08 (com 12% de Ca e 10% de S) na quantidade de 150 gramas por cova. Posteriormente, 12 meses da implantação foi realizado adubação de cobertura com Nitrogênio, Potássio e Boro, nas respectivas dosagens 60, 40 e 3 kg. ha^{-1}. Conteúdo médio de Areia, Silte e Argila: 184,2; 224 e 591,8 g kg^{-1}
Pastagem (P)	Anteriormente, em 2004 a área (10,2 ha) foi utilizada com sucessão (Soja + Milho), a partir de 2005 foi realizado a calagem da área com 2 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico, 40 kg ha^{-1} de K_20 e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5, Foi realizada a gradagem e a semeadura de *Brachiaria (Syn. Urochloa) decumbens* a lanço e então colocado o rebanho de bovinos na densidade média de 1,5 UA por hectare. Em 2014, realizou-se a aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico a lanço sob a pastagem já formada, com intuito de corrigir a acidez da área. No ano de 2017, foi realizado o terraceamento da área em curvas de nível de 30 em 30 metros de acordo com a declividade do terreno. Conteúdo médio de Areia, Silte e Argila: 261,3; 251,1 e 487,6 g kg^{-1}
Agro floresta (AF)	De 2004 a 2015 a área (4,3 ha) se apresentava com pastagem com sinais de degradação acentuada. E então implantado o sistema agroflorestal com a implantação de diversas espécies arbóreas, frutíferas, além de culturas anuais como exemplo (Eucalipto, Baru, Mandioca, Banana, Mamão, Amendoin, Pimenta) com intuito de se promover a estratificação da produtividade da área. Foi então realizado, após análise de solo, revolvimento e incorporação de adubação mineral com 4 Mg ha^{-1} de pó de rocha + termofosfato yoorim (175 P_2O_5, 280 CaO, 145 MgO) na proporção de 2 Mg ha^{-1} e adubação orgânica com 3 m^3 ha $^{-1}$ de esterco + restos vegetais) Conteúdo médio de Areia, Silte e Argila: 255,3; 233,5 e 511,2 g kg^{-1}

Para a extração das amostras de solo, foram utilizadas coletas deformadas para determinação das variáveis químicas (pH, CTC, nitrogênio total, teores de K e P-Lábil, saturação de bases, saturação de alumínio) e biológicas (matéria orgânica, carbono orgânico e carbono da biomassa microbiana. Já para as propriedades físicas (densidade do solo, volume total de poros, e diâmetro médio dos agregados), assim como para a fauna edáfica as coletas foram indeformadas, mantendo-se a estrutura do solo.

Para a determinação da fauna edáfica foi realizada a extração dos artrópodes por equipamento do tipo Berlese-Tüllgren modificado, conforme metodologia proposta por Rodrigues et al, (2008), que posteriormente foram submetidas a triagem e contagem do número total de indivíduos maiores que 2 mm de diâmetro. As variáveis discretas, provenientes dessa contagem foram transformadas para variáveis contínuas, através da determinação da densidade de indivíduos por metro cúbico.

As amostras extraídas foram devidamente acondicionadas e encaminhadas aos respectivos laboratórios para análises físicas, químicas e biológicas. As análises físicas do solo: densidade; volume total de poros e diâmetro médio ponderado dos agregados foram realizados no laboratório de física dos solos da Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí. Os ensaios realizados para resistência a penetração foram realizados com a utilização do penetrômetro digital, sem a necessidade de coleta e transporte do solo para laboratório.

As variáveis utilizadas como parâmetro para a realização do presente estudo bem como a metodologia e referências utilizadas na sua determinação estão presentes na (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo e métodos utilizados para sua determinação

Indicador	Unidades	Metodologia Utilizada	Referências
		Físico	
Densidade (Ds)	$kg \cdot dm^{-3}$	Anel volumétrico	EMBRAPA (2017)
Diâmetro médio ponderado (Dmp)	mm	Via úmida	Salton et al. (2012).
Resistencia do solo à penetração (Rp)	MPa	Penetrômetro digital	Molin et al. (2012)
Volume total de poros (Vtp)	$m^3 m^{-3}$	Método Indireto	EMBRAPA (2017)
		Químico	
Saturação de bases (V%)	%	Saturação por bases	EMBRAPA (2017)
Fósforo (P-lábil) e Potássio (K)	$Kg\ ha^{-1}$	Extrator Mehlich-1	EMBRAPA (2017)
CTC	$mmolc\ dm^{-3}$	C.T.C	EMBRAPA (2017)
Acidez total (pH)	-	Água, relação 1:2,5	EMBRAPA (2017)
Nitrogênio Total (Nt)	$Kg\ ha^{-1}$	Método Kjendal	EMBRAPA (2017)
Saturação de alumínio (m%)	%	Saturação de alumínio	EMBRAPA (2017)
		Biológico	
Carbono orgânico (COT)	$g \cdot kg^{-1}$	Método Walkley & Black	EMBRAPA (2017)
Carbono Biomassa microbiana (C-Bm)	$\mu g\ g^{-1}$	Extração-fumigação	Vance et al. (1987)
Fauna edáfica (FE)	N° m^3	Berlese Tulgren modificado	Rodrigues et al. (2008)
Matéria Orgânica (MOS)	$g \cdot kg^{-1}$	Método do colorímetro	EMBRAPA (2017)

2.2 Análises estatísticas

Para avaliação do efeito dos ambientes sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de discriminação de médias de Tukey ($p<0,05$).

Para identificação dos indicadores representativos da qualidade edáfica com maior relevância na discriminação dos ambientes de manejo, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP) e posteriormente foi realizado o agrupamento entre os ambientes com base na distância generalizada (D^2) de Mahalanobis e otimizada pelo método de Tocher.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Atributos físicos

Na análise das variáveis físicas, foi observado diferença significativa ($p<0,05$) para volume total de poros (VTP) e resistência a penetração (RP), evidenciando que os manejos adotados promoveram mudanças nessas características em comparação ao ambiente de cerrado nativo (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos físicos indicadores, Ds – Densidade do solo; VTP – volume total de poros; RP- resistência à penetração mecânica do solo; DMP- Diâmetro médio ponderado dos agregados na camada de 0 a 20 centímetros

Uso do Solo	Ds	VTP	RP	DMP
	Kg dm^{-3}	m^3 m^{-3}	Mpa	mm
CN	1,42 a	0,62 ab	0,98 b	2,18 a
SPD	1,81 a	0,51 b	1,69 a	2,00 a
S	1,43 a	0,59 ab	1,76 a	2,15 a
P	1,54 a	0,63 a	1,57 a	1,96 a
AF	1,46 a	0,66 a	0,98 b	2,16 a
CV%	9,29%	6,42%	14,22%	4,36%
Média	1,53	0,507	1,40	2,09

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. CN – Cerrado Nativo; SPD – Plantio Direto; S- silvicultura; P – pastagem cultivada; AF – Agro floresta. CV% - coeficiente de variação; Teores de umidade do solo (%): CN- 17,3%; SPD-14,8%; S – 20,63%; P- 19,3 % e AF- 18,4%

Á área em SPD (0,51 m^3 m^{-3}) apresentou menores valores de VTP em comparação com CN (0,62 m^3 m^{-3}). Segundo Baver et al. (1972), o volume de poros é expressivamente diminuído pelo tipo de solo que se analisa e o aumento do adensamento causado por pressões exercidas no solo por práticas antrópicas.

No presente estudo a área sob SPD, com o menor valor apresentado para o atributo e estatisticamente semelhante à S e CN. Essa redução observada pode ser explicada em parte, pela sucessiva utilização da área em cultivos de grãos (safra/safrinha), com a movimentação de maquinário e pessoas ao longo do período de utilização do ambiente.

Para o atributo resistência a penetração (RP) os ambientes Cerrado Natural (CN) e Agro Floresta (AF) apresentaram os menores valores 0,98 MPa, seguidos por Pastagem, Plantio Direto e Silvicultura (1,57;1,69;1,76). As áreas com menores intensidades de uso em tratos culturais apresentaram condições de menor resistência a penetração semelhantes as áreas naturais. Entretanto em solos sob pastagem e plantio direto com histórico de utilização condicionada pela utilização intensiva nos últimos 14 anos apresentam- se com maiores valores de RP. Em partes sendo explicado através de práticas culturais como plantio, colheita e pulverizações para plantio direto e deslocamento e pisoteio animal das pastagens que contribuem para o processo de compactação dessas áreas.

A resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores de potencial mecânico que variam de 1,5 a 3,0 MPa, conforme (Grant & Lafond 1993); A formação de camada compactada a diferentes profundidades, com uso e manejo do solo, é quantificada pelos valores maiores que 2,0 MPa, limite crítico sugerido por Tormena (1996) em um Latossolo com característica argilosa.

Moreira & Siqueira, (2006) afirmam que solos sob pastagens mal manejadas (degradadas) resultam em aumento na densidade do solo e na sua resistência à penetração. Tal fator no presente estudo pode relacionar-se com o excesso de carga animal ocasionado por diferentes lotações sobre as pastagens após a semeadura da gramínea e colocação do gado, aumentando a resistência subsuperficial causada pela movimentação dos animais na área. Entretanto os valores apresentados são inferiores aos níveis críticos para o atributo.

Os atributos Densidade (Ds) e Diâmetro médio ponderado (DMP) não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os ambientes de manejo

estudados. Entretanto observa-se aumento percentual na Ds em 27% e 18% respectivamente para solos em SPD e P em relação ao Cerrado Natural (CN).

De acordo com Souza Neto et al, (2008) em áreas pouco revolvidas como o Cerrado, o tamanho dos agregados é maior. Já para sistemas com a movimentação recorrente do solo, ocorre a perda da estrutura original promovendo a “quebra” e desagregação entre o material orgânico e mineral anteriormente protegido (Leite et al., 2010). Os resultados encontrados nos estudos de Wendling et al, (2012), em solos de textura argilosa na cidade de Uberlândia- MG contribuem na explicação da importância da estabilidade dos agregados, apresentando maior tamanho de agregados em áreas com menor intensidade de uso antrópico. De acordo com Zalamena et al. (2008), altos valores de diâmetro médio ponderado (DMP) caracterizam um solo mais agregado e mais protegido da degradação física.

Por fim, a intensificação dos manejos nesses ambientes que promovem alterações físicas no solo em relação as áreas de Cerrado natural, ao decorrer dos anos sem a utilização de medidas mitigadoras e sustentáveis que reduzam a pressão de uso sobre esses solos, promovem processos de degradação como a compactação, desagregação e a erosão hídrica na camada de 0 a 20 centímetros, podendo reduzir a qualidade e aumentando a fragilidade física desses solos.

3.2. Atributos químicos

Diferenças significativas para os atributos químicos, (Tabela 3), já eram esperadas entre as áreas manejadas e o ambiente natural através do histórico preliminar de uso dos ambientes. Uma vez que foram submetidas a correções de fertilidade para se adequarem aos respectivos sistemas produtivos.

Tabela 3. Indicadores químicos de qualidade: pH – potencial hidrogeniônico, V% - saturação de bases; m% - saturação de alumínio, P - lábil – teor de fósforo; K – teor de potássio; NT- Nitrogênio total; CTC – capacidade de troca de cátions

Uso do Solo	pH	V%	m%	P - lábil	K	NT	CTC
	H_2O	%			kg ha^{-1}		$cmol_c dm^3$
CN	4,7 bc	10,1 c	4,2 ab	4,30 b	82 b	410 ^{ns}	8,0 ^{ns}
SPD	5,1 bc	31,8 bc	3,4 ab	21,0 a	143 ab	371	9,8
S	4,7 c	24,8 bc	5,3 a	13,1 ab	217 a	376	8,4
P	5,3 b	40,0 ab	2,6 bc	4,40 b	176 ab	336	10,0
AF	6,0 a	64,3 a	0,8 c	14,9 ab	197 a	463	8,3
CV%	4,49%	28,20%	27,64%	41,61%	21,55%	18,31%	11,46%
Média	5,18	34,21	3,29	5,77	163	391	8,91

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%, ns – não significativo, CN – Cerrado Nativo; SPD – Plantio Direto; S- silvicultura; P – pastagem cultivada; AF – Agro floresta, CV% - coeficiente de variação

As propriedades químicas dos solos são significativamente modificadas com a retirada da vegetação natural e o cultivo, principalmente na camada arável, em virtude da adição de corretivos e fertilizantes e de operações agrícolas (Freitas, 2017).

Entre os atributos químicos analisados, o efeito dos ambientes na CTC e no Nitrogênio total (NT), não promoveram alterações significativas para esses atributos pelo teste F ($p<0,05$), (Tabela 3). A CTC do solo para o presente estudo apresentou valores acima dos adequados ≥ 6,1 $cmol_c$ dm-1; para solos argilosos do Cerrado (Souza & Lobato, 2004), podendo ser explicado pelos elevados teores de matéria orgânica encontrada nesses solos, e que tem estreita relação com a capacidade de troca catiônica.

Segundo Soares & Alleoni. (2008) na CTC dos solos do Cerrado a matéria orgânica tem papel relevante por apresentarem maior predomínio de cargas dependentes de pH, essa contribuição pode ser 60 vezes maior por grama de carbono orgânico em relação a fração argila contribuindo de forma expressiva na troca de íons entre a solução e a superfície coloidal.

Para os estudos de Raij (1981) essa contribuição foi estimada entre 56 e 82% da CTC, sendo essa variável de grande importância na fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, poderão ficar disponíveis para as plantas (Carneiro et al., 2017).

O Nitrogênio por se apresentar como um dos principais componentes da matéria orgânica do solo, em conjunto com o carbono, tem seus teores variando em função das taxas de adição e perda, dos resíduos vegetais e animais em decorrência da erosão e da oxidação pelos microrganismos do solo, sendo influenciados pelo manejo adotado (Souza, 2009). Com isso, para o presente estudo a ausência de diferença estatística entre os ambientes pode ser explicada em partes pelo elevado estoque do CO e MO do solo.

Para as propriedades, pH (H_2O), saturação de bases (v%), saturação por alumínio (m%), e teores nutricionais de fósforo (P) e Potássio (K) observou-se que os ambientes e práticas de manejo promoveram diferenças nessas variáveis. Em que os ambientes sob agrofloresta apresentaram os maiores resultados para pH, v%, e elevados teores de nutrientes, e cerrado nativo os menores valores. Este comportamento, evidencia estudos sobre o Cerrado em relação a baixa fertilidade natural de grande parte dos solos sob o bioma. No trabalho de Carneiro et al. (2009), as áreas sob vegetação de Cerrado apresentaram maiores teores de H + Al e Al^{3+} e menor concentração de Ca, Mg e P em relação às áreas manejadas.

Na mata, os teores baixos de nutrientes 4,3 e 85 kg ha^{-1} para Fósforo e Potássio respectivamente, em parte, se explica pelo fato de que nesse ambiente grande parte dos nutrientes estão alocados na vegetação, além da pobreza química do Latossolo e do alto grau de intemperismo dele no ambiente (Santos et al., 2007; Portugal et al., 2008; Freitas, 2017).

Em relação a m%, os ambientes cerrados nativo (4,2) e silvicultura (5,3) apresentaram maiores percentagens de saturação de Al^{3+}, diferentes dos demais tratamentos avaliados e superiores à média encontrada (3,29). Tais valores podem ser explicados pela ausência de aplicação de corretivos de solo, através da calagem, para o plantio florestal. O histórico de uso para Silvicultura evidencia que os tratos silviculturais de adubação foram realizados nas linhas de plantio das mudas clonais e não em área total.

Normalmente, no que tange aos métodos mais utilizados para preparo do solo para eucaliptocultura têm-se: cultivo intensivo (convencional) ou cultivo mínimo do solo (Botelho, 2003). No cultivo mínimo, o preparo do solo é localizado apenas na linha ou na cova de plantio, em diferentes profundidades, a depender do nível de compactação de cada local.

Com isso, quando se conduz o preparo de solo neste sistema em linha, normalmente é utilizado o implemento subsolador acoplado a um trator, o qual promove a desestruturação do solo em linha, numa profundidade superior a 40,00 cm (Paiva et al., 2011). Em conjunto com esta operação de subsolagem, também é realizada a distribuição de adubo fosfatado na linha de plantio (Paiva et al., 2011). Em geral, para o preparo do solo no cultivo mínimo, faz-se aplicação de herbicida pré-emergente em área total, seguido de subsolagem, aplicação de herbicida pré-emergente na linha de plantio, adubação e plantio.

Segundo Oliveira et al. (2015), a calagem, por exemplo, é uma técnica indispensável na agricultura do Cerrado brasileiro, por diminuir a acidez potencial do solo, pois eleva o pH em níveis adequados para cultura, consequentemente melhorando as bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) do solo.

Uma vez que a fertilidade do solo foi construída para o nível ideal do nutriente, a taxa de aplicação deve ser grande o suficiente para manter o nível ideal. Isso pode ser conseguido aplicando nutrientes a uma taxa que se aproxima da taxa de nutrientes removidos na colheita (Heckman, 2006).

Por fim, para o tipo de solo avaliado nesse estudo os ambientes de manejo são influenciados diretamente pela ação antrópica, no intuito de promover o enriquecimento químico e construir a fertilidade conforme padrões e especificações do tipo de cultura a ser implantada. Esse comportamento contribui para o aumento da qualidade desses solos, no que tange a deixá-los mais produtivos.

3.3. Atributos biológicos

Os ambientes avaliados não promoveram alterações significativa nos atributos carbono orgânico (CO), matéria orgânica (MO) e Fauna edáfica (FE). Já para carbono da biomassa microbiana (C-Bm) variações foram observadas (Tabela 4).

Na literatura, trabalhos destacam os efeitos positivos de sistemas conservacionistas na manutenção e distribuição de carbono orgânico no solo (Costa et al., 2008; Hickmann et al., 2012), evidenciando as práticas positivas, por exemplo, da utilização do plantio direto (Lisboa et al., 2012).

Tabela 4. Indicadores biológicos: CO – carbono orgânico; MO- Matéria orgânica; C-Bm – Carbono da Biomassa microbiana e FE -Fauna edáfica

Uso do Solo	CO	MO	C-Bm	FE
	g kg^{-1}		µg g^{-1}	n°m^{-3}
CN	15,60 ^{ns}	36,90 ^{ns}	620 ab	27.500^{ns}
SPD	14,00	31,43	335 b	19.722,22
S	14,67	31,77	331 b	14722,22
P	14,00	30,69	401 b	14444,44
AF	16,67	36,20	743 a	23611,11
CV%	11,33%	15,64%	23,79%	43,23%
Média Geral	15,02	30,77	485,84	20000

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5%, ns – não significativo, CN – Cerrado Nativo; SPD – Plantio Direto; S- silvicultura; P – pastagem cultivada; AF – Agro floresta, CV% - coeficiente de variação

Para o presente trabalho foram não foram encontradas diferenças significativas entre os teores de Carbono Orgânico (CO) 14,00 para ambientes de Plantio Direto e Pastagem e de 14,67 para cultivo silvicultural com eucalipto, valores menores em comparação as áreas de Cerrado Nativo (15,60) e Agro Floresta (16,67). Alguns autores (Lima et al., 2011; Iwata et al., 2012; Linhares et al., 2016) revelam que sistemas agroflorestais, oriundos de pastagens degradadas, podem necessitar de maior período de adoção para apresentar níveis de carbono orgânico similares ou superiores à vegetação nativa, sendo influenciado pela quantidade fornecida de material orgânico como restos culturais, excreções radiculares, serrapilheira, entre outros. Estudo conduzido por Linhares et al. (2016), mostrou que a implantação de sistemas agroflorestais por período superior a dez anos foi eficiente na recuperação da matéria orgânica, comparando-se à floresta nativa.

Carneiro et al, (2013), trabalhando com teor de carbono orgânico em dois tipos de solos do cerrado encontraram incremento de até 35% de CO em áreas submetidas a sistemas de integração lavoura pecuária floresta se comparadas a áreas de pastagem. O mesmo autor ainda cita incrementos de 22% e 20% em ambientes de plantio direto com sucessão de (Soja/Milho/Soja/Sorgo) e (Soja, Nabo, Milho, Nabo).

O Carbono da biomassa microbiana (C-Bm) apresentou maiores valores para a área submetida à integração Agrofloresta (AF) e no Cerrado, diferindo significativamente dos outros manejos e uso do solo (Tabela 4). De acordo com Moreira & Siqueira (2006) o C-Bm representa cerca de 2 a 4% de carbono orgânico

total do solo, e tem relação estreita relação com fatores ligados a ativação de microorganismos decompositores.

Para Silva et al. (2010) o aumento da C-Bm em áreas de integração e de cerrado é resultado da deposição de substratos orgânicos facilmente oxidáveis de composição química variada decorrente da serapilheira, da própria rizosfera das plantas, além da atividade microbiana do solo, no presente trabalho a incorporação de resíduos vegetais teve relevância no incremento do C-Bm. Por estar associada às funções ecológicas do ambiente, a biomassa microbiana também tem sido usada como indicador de alterações e qualidade do solo, sendo capazes de refletir rapidamente as alterações de uso do solo (Matoso et al., 2012).

Embora não terem apresentado diferenças estatísticas significativas, foi observado que os solos manejados obtiveram uma densidade de indivíduos da fauna edáfica inferiores as áreas não perturbadas do cerrado. De acordo com Baretta et al. (2011) quando se refere a utilização do solo na busca por produtividade a fauna do solo é um fator que recebe pouca atenção, uma vez que elevadas quantidades de produtos químicos são aplicadas, em geral em grandes áreas de monocultivo para combater a presença de organismos indesejáveis (Freitas, 2007). Podendo ser fatores que exercem pressão na biota promovendo a eliminação de indivíduos pertencentes a fauna edáfica.

A fauna é sensível as alterações ocorridas no ambiente em decorrência das práticas empregadas pelo homem, podendo ser modificados por fatores físicos, químicos e biológicas desse solo, em resposta a processos como a compactação, revolvimento da MO (Moço et al, 2005), aumento da temperatura e redução da umidade (Lavelle & Spain, 2001) e utilização de fertilizantes e produtos fitossanitários. (Moço et al, 2005; Baretta et al, 2011). Esse comportamento de sensibilidade alta permite a utilização desse atributo como uma propriedade indicativa da qualidade dos solos.

3.4. Análise das componentes principais

Na análise dos componentes principais (CP's) dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo sob diferentes ambientes e usos, utilizando como parâmetro de entrada as 15 variáveis iniciais foi utilizado a dispersão gráfica biplot dos escores para os ambientes avaliados, assim como as correlações entres os autovetores (Figura 3).

Observa-se que a CP1 e CP2 (autovalores) participam de (45,48% e 28,02%), correspondendo a 73,5% da variação total dos dados. O autovalor representa o nível mais alto possível de correlação de todas as variáveis com o eixo principal (Hongyu, 2015). Portanto, é uma medida da variação total do conjunto de dados representada pelo eixo (Cruz & Regazzi, 2012; Cruz, 2013).

O eixo (CP1) foi influenciada pelas variáveis biológicas e físicas do solo com maiores pesos associados a essa componente. Já para o eixo (CP2) as variáveis químicas tiveram contribuição mais importante. Na interpretação da ACP as variáveis (autovetores) mais próximas ao eixo são as mais relevantes ao tentar explicar a variação total e a correlação entre as variáveis.

O gráfico ainda mostra o agrupamento dos ambientes pelo método de Tocher, com base na dissimilaridade de Mahalanobis em: Grupo 1 (Pastagem, Plantio direto e Silvicultura) e ainda a formação de dois grupos um deles constituído pelo Grupo 2 (Cerrado nativo) e o outro pelo Grupo 3 (Agrofloresta) , onde o maior distanciamento gráfico entre os ambientes foi observado dentro do eixo (CP1), ou seja, com maior influência explicada pelos atributos fisícos e biológicos do solo, sendo os autovetores mais importantes (CO, C-Bm, NT, RP e DMP).

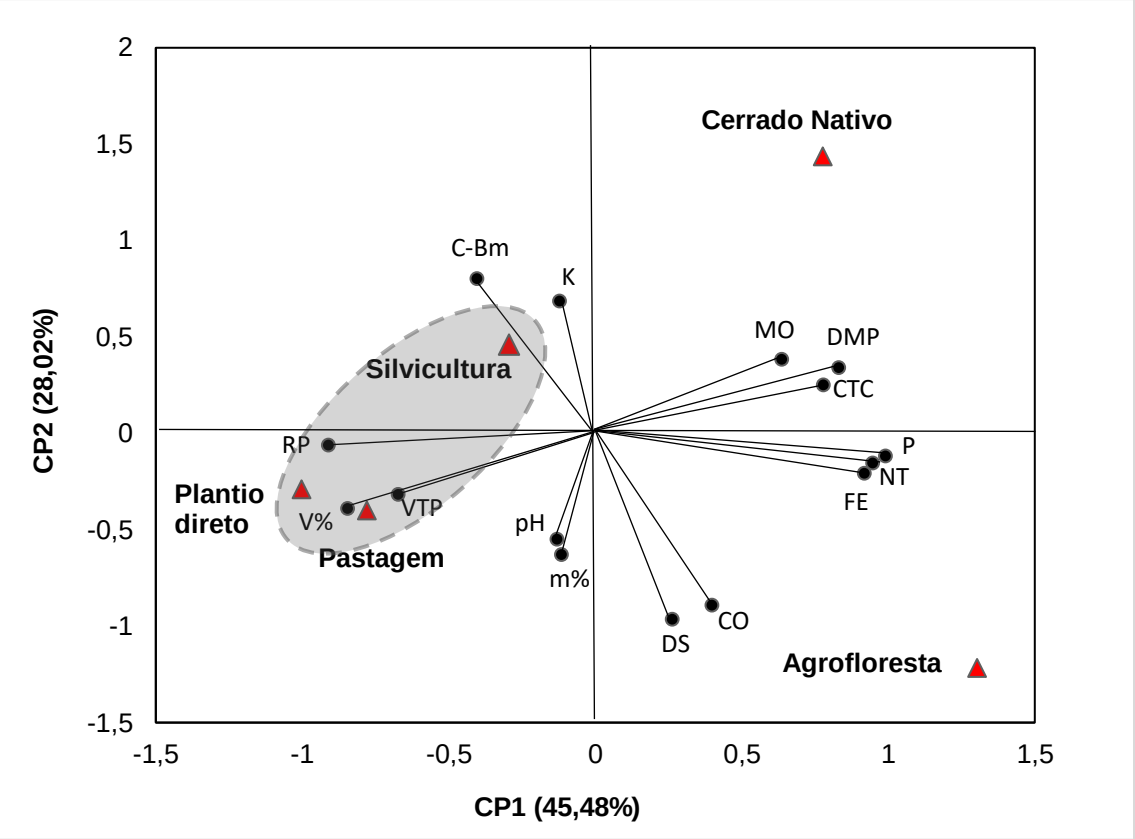

Figura 3. Dispersão gráfica (biplot) das variáveis iniciais em relação aos ambientes de manejo para o Latossolo vermelho distroférrico; Autovetores - Ds – Densidade do solo; VTP – volume total de poros; RP- resistência à penetração mecânica do solo; DMP- Diâmetro médio ponderado dos agregados; pH – potencial hidrogeniônico, v% - saturação de bases; m% - saturação de alumínio, P – teor de fósforo; K – teor de potássio; NT- Nitrogênio total; CTC pH 7,0 – capacidade de troca de cátions; CO – carbono orgânico; MO- Matéria orgânica; C-Bm – Carbono da Biomassa microbiana e FE -Fauna edáfica.

Já em relação ao eixo (CP2), podemos citar a contribuição dos autovetores químicos (pH, V%, m%) para diferenciar os ambientes manejados das áreas de Cerrado Nativo (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados das análises dos componentes principais

Componentes principais	CP1	CP2	CP3	CP4
Autovalor	6,82595	4,20615	2,3229	1,652373
Proporção (%)	45,484	28,02725	15,478	11,01042
Acumulada (%)	45,484	73,51124	88,99	100
Autovetores				
DMP	**0,8226***	-0,3466	0,0191	0,4497
RP	**-0,9102***	0,0439	-0,128	0,3925
VTP	**0,6357***	-0,4065	-0,562	-0,3439
Ds	**-0,6697***	0,3269	0,6547	-0,1296
pH (H_2O)	0,3931	**0,8917***	-0,007	-0,2238
m%	-0,4001	**-0,8077***	-0,076	0,4263
V%	0,2583	**0,9608***	-0,101	-0,0028
NT	**0,9166***	0,2115	0,2943	0,1694
P	-0,1326	0,5521	**0,7224**	0,3944
K	-0,1166	0,6177	-0,483	**0,6093**
CTC	-0,85	0,3846	0,0126	-0,3611
C-Bm	**0,9436***	0,1573	0,0685	-0,2833
CO	**0,9902***	0,1196	0,0613	0,0614
MO	**0,7794***	-0,2448	0,5098	0,27
FE	-0,1218	-0,4807	**0,66**	-0,2938

* Autovetores com maior peso associado as componentes principais 1 e 2. Em negrito e sublinhado - autovetores com maior peso nas últimas componentes principais. DMP-Diametro médio ponderado; RP- resistência a penetração; VTP – volume total de poros; Ds- Densidade do solo; Ph (H_20) – potencial hidrogeniônico em água; m% - saturação de alumínio; v% - saturação de bases; NT – nitrogênio total; P – teor de fósforo lábil; K – teor de potássio; CTC – capacidade de troca catiônica; C-Bm- carbono da biomassa microbiana; CO- Carbono orgânico; MO – matéria orgânica; FE – fauna edáfica

Esses resultados podem estar associados a utilização intensiva desses solos, 15 e 17 anos, para Pastagem e Plantio direto e 8 anos para Silvicultura com intensa movimentação de implementos (Cavalieri et al., 2011) e pisoteio animal no caso da pecuária, (Costa et al., 2009), que alteraram ao longo dos anos os atributos físicos e biológicos para esse agrupamento de ambientes.

Segundo Santana & Bahia Filho (1998) ressaltam que os atributos físicos como estabilidade de agregados sofrem mudanças em médio prazo e longo prazo. E esses tem sido considerado os melhores indicadores das diferenças entre solos com sistemas de cultivo distintos, ou seja, a longo prazo as diferenças entre os manejos de cultivos terão grandes chances de apresentarem resultados significativos (Araújo et al, 2007). Essa diferença foi encontrada no presente trabalho.

Em consonância, e apresentando também alta ponderação para diferenciação dos tratamentos pode-se elencar os atributos biológicos, principalmente Carbono

orgânico (CO) e Carbono da biomassa microbiana (C-Bm). Segundo Sales et al. (2018) o carbono orgânico é um atributo essencial na identificação de práticas mais adequadas e sustentáveis elevando a produtividade e diminuindo a pressão sobre as áreas naturais.

O carbono orgânico está diretamente ligado à qualidade do solo, pois é um agente cimentante da estrutura, atua no tampão do pH, na complexação de elementos e capacidade de troca de cátions, além de aumentar a disponibilidade hídrica no solo (Campos et al., 2016). Em ambientes que promovem a deposição do material vegetal, via rizodeposição e resíduos de parte aérea, e até mesmo por práticas de adubação orgânica, tem papel preponderante no estímulo da atividade dos microrganismos do solo e o aumento da concentração de matéria orgânica (Guo & Gifford, 2002).

Considerando que os atributos de qualidade do solo devem ter sensibilidade o suficiente para indicar alterações decorrentes do uso, é possível verificar que o carbono da biomassa microbiana apresentou desempenho para tal. De acordo com Gama-Rodrigues & Gama-Rodrigues (2008), a biomassa microbiana pode ser enquadrada como o compartimento central do ciclo do C e representa considerável reservatório de nutrientes nos solos e atributo fundamental para o estudo de ciclagem de nutrientes, em diferentes ecossistemas. Por esse motivo, esse atributo é bastante útil em estudos a respeito da sustentabilidade de ecossistemas e pode ser indicado como um componente potencial de um índice de qualidade do solo.

Em estudos que utilizam a técnica dos componentes principais como meio de descartes de variáveis com a finalidade de redução de mão-de-obra, tempo e custo despendido na análise e interpretação dos dados experimentais, a importância relativa das características pode ser avaliada pela magnitude do coeficiente de ponderação destas (Cruz & Regazzi, 2012)

Com isso, as variáveis de descarte que representam elevada ponderação em autovalores que explicam pouco da variação total existente são: Os teores de P-lábil, K e FE (Tabela 6). Já para os trabalhos de Carneiro et al, (2009); as maiores ponderações foram observadas para os atributos Macro e Microporos, Densidade, volume total de poros e teor de P.

4. CONCLUSÕES

Os resultados desse estudo mostram que o tipo de uso do ambiente de manejo altera a magnitude dos indicadores físicos, químicos e biológicos no solo.

As reduções das variáveis físicas e biológicas indicam a perda da qualidade do solo para ambientes com uso intensivo através da presença da pressão antrópica.

A avaliação química dos solos mostra aumento da disponibilidade de nutrientes e redução da acidez e toxidez para todos os ambientes em comparação aos solos do Cerrado.

A análise de componentes principais aponta que os atributos biológicos e físicos formam indicadores de qualidade com maiores contribuições na discriminação dos ambientes de manejo.

Nenhum dos ambientes de manejo construído apresenta agrupamento com a área de Cerrado nativo, estabelecido como referência.

5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Sttutgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, R. GOEDERT, W. J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 05, p. 1099-1108, 2007.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Soil structure: evaluation and agricultural significance. In: BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. (Ed.). **Soil physics.** 4. ed. New York: J. Wiley, 1972, p. 178-223.

BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., OLIVEIRA FILHO, L. D., e ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.

BOTELHO, S. A. **Princípios e métodos silviculturais.** Lavras: Departamento de Ciências Florestais/Universidade Federal de Lavras, 144 p. 2003

CAMPOS, M. C. C., SOARES, M. D. R., NASCIMENTO, M. F., MARCELO, D., e SILVA, P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Ambiente e Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, p. 339-349, 2016.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARNEIRO, M. A. C; SOUZA, E.D.; PAULINO, H.B.; SALES, L.E. de O.; VILELA, L.A.F. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das emas, Goiás**. Bioscience Journal.**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1857-1868, Nov./Dec. 2013

CARNEIRO, J.S.S.; FARIA, Á.J.G.; FIDELIS, R.R.; SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C. e SILVA, R.R. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no Cerrado. **Scientia Agraria**, vol. 17, n. 3, p. 38-49. 2017.

CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. A. de; SILVA, A. P. da; LIBARDI, P. L.; TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-

açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 1541-1549, 2011.

CHAER, G. M.; MYROLD, D. D.; BOTTOMLEY, P. J. A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soils of the Pacific Northwest. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 822-830, 2009.

COSTA, F. 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**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 323-332, 2008.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; SILVA, F. R. da. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 235-244, 2009.

CLAASSENS, S.; VAN RENSBURG, J.; MABOETA, M. S.; VAN RENSBURG, L. Soil microbial community function and structure in a post-mining chronosequence. **Water Air Soil Pollution**, v. 194, p. 315-329, 2008.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. ed.4, Viçosa, 2012.

CRUZ, C.D. GENES – A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M. e LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, Nebraska, n. 56, p.1-54, 1996.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, Embrapa Solos. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FREITAS. M.P. **Flutuação populacional de oligochaeta edáfica em hortas sob sistemas convencional e orgânico no município de Canoinhas/SC.** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 61p. (Tese de Mestrado) 2007.

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

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. **C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; O., CAMARGO F. A. Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 159-170.

GUO, L.; GIFFORD, R. Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. **Global change biology**, Oxford, v. 8, n. 4, p. 345-360, 2002.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. D.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. D. L. T. Atributos físico-hidricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 128-136, 2012.

HECKMAN, J. R. Soil fertility test interpretation: phosphorus, potassium, magnesium, and calcium. **Fact Sheet FS719 Rutgers Cooperative Extension, New Jersey Agricultural Experimental Extension**, v. 4, 2006.

HONGYU, K. **Comparação do GGE biplot-ponderado e AMMI- ponderado com outros modelos de interação genótipo x ambiente.** Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Sistema de suporte à tomada de decisão na agricultura (SISDAGRO) Balanço Climáticos para o município de Jataí/ GO. Brasília, DF: INMET, 2019. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc> Acesso em: 25 de janeiro 2019.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.730-738, 2012.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, p. 1-13, 2010.

LAVELLE, P. & SPAIN, A. **Soil ecology**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001. 654p.

LEITE, L. F.; GALVÃO, S. R.; HOLANDA NETO, M.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1273-1280, 2010.

LIMA, S. S. D., LEITE, L. F. C., OLIVEIRA, F. D. C., e COSTA, D. B. D. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.

LINHARES, J. M., BASTOS, W. R., SILVA, D. P. L., SILVA JUNIOR, R. F., e OLIVEIRA, L. C. S. Variabilidade de atributos fisico-quimicos e dos estoques de carbono organico em Argissolo Vermelho sob sistemas agroflorestais no assentamento Umari sul do Amazonas. **Rev. Geográfica Acadêmica**, v. 10, p. 93-117, 2016.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; DA SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 36, Viçosa, n. 1, p. 45-55, 2012.

MCGRATH, D. & ZHANG, C. Distribuição espacial das concentrações de carbono orgânico no solo em prados da Irlanda. **Geoquímica Aplicada**, v. 18, n. 10, p. 1629-1639, 2003.

MOÇO, M.K.S.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. e CORREIA, M.E.F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 29:555-564, 2005.

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 16, n. 5, p. 584–590, 2012.

MATOSO, S.C.G.; SILVA, A.N.; FIORELLI-PEREIRA, E.C.; COLETA, Q.P. e SOUZA, E.F.M. – Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, vol. 42, n. 2, p. 231-240. 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006, 729 p.

OLIVEIRA, I.A.; MARQUES JUNIOR, J.; COSTA CAMPOS, M.C.; DE AQUINO, R.E.; DE FREITAS, L.; SILVA SIQUEIRA, D. e DA CUNHA, J.M. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da

Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** vol. 29, n. 3, (2015) p. 668-681.

PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G.; TRINDADE, C.; RIBEIRO, G. T. **Cultivo do eucalipto: implantação e manejo.** Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2011. 353 p.

PIERI, C. Experimentos de longo prazo sobre manejo do solo na África francófona semiárida. **Manejo do solo: base experimental para sustentabilidade e qualidade ambiental**, p. 225-266, 1995.

PORTUGAL, A. F., COSTA, O. D. A. V., COSTA, L. M. D., e SANTOS, B. C. M. D. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 1, p. 249-258, 2008.

QI, Y., DARILEK, JL, HUANG, B., ZHAO, Y., SUN, W. E GU, Z. Avaliação de índices de qualidade do solo em uma região agrícola da província de Jiangsu, China. **Geoderma**, v. 149, n. 3-4, p. 325-334, 2009.

RAHMANIPOUR, F., MARZAIOLI, R., BAHRAMI, H. A., FEREIDOUNI, Z., e BANDARABADI, S. R. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. **Ecological indicators**, v. 40, p. 19-26, 2014.

RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van., ed. **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p. 17-31.

RODRIGUES, K. de M.; CORREIA, M. E. F.; ALVES, L. B.; AQUINO, A. M. de. Funis de Berlese-Tüllgren modificados utilizados para amostragem de macroartrópodes de solo. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 6 p. (Circular Técnica, 22), 2008.

SALES, A., SILVA, A. R., VELOSO, C. A. C., CARVALHO, E. J. M., e MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.1, Jan-Mar. 2018, p.01-15.

SALTON, J.C. **Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 158p. 2005. (Tese de Doutorado)

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C. Determinação da agregação do solo – metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados:

Embrapa Agropecuária Oeste, 2012. 8 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 184).

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado. In: **World Congress of Soil Science**, 16, Montpellier. Proceeding Montpellier: ISSS/CIRAD, 1998. CD-Rom. 1998

SANTOS, G. V., DIAS, H. C. T., SILVA, A. P. D. S., e MACEDO, M. D. N. C. D. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.31, n. 5, p.931-940, 2007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. E-book: il. color. 5. edição. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, 2010.

SOARES, M.R.; ALLEONI, L.R.F. Contribution of soil organic carbon to the ion exchange capacity of tropical soils. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.32, p.439-462, 2008.

SOUSA, D.M.G. e LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2ª Ed. Brasilia. Embrapa Cerrados. 416 p. 2004.

SOUZA, C., LOURENÇÃO, W., FAGAN, E. B., SAFATLE, T. D. C., e SOARES, I. A. P. Matéria orgânica e alterações de propriedades físicas e químicas de Solo sob sistemas de manejo no cerrado, **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v.21, n.3, p.226- 232, 2009.

SOUZA NETO, J. P.; SOUZA, N. M.; OLIVEIRA, S. R. Estabilidade de agregados em água em solos do cerrado do oeste baiano em função do manejo adotado. In: SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO, 9., **Anais**... Brasília, DF, 2008.

STAMATIADIS, S.; WERNER, M.; BUCHANAN, M. Avaliação de campo da qualidade do solo afetada pela aplicação de adubo e fertilizante em um campo de brócolis (San Benito County, Califórnia). **Ecologia Aplicada do Solo**, v. 12, n. 3, p. 217-225, 1999.

VANCE, E.D., BROOKES, P.C., JENKINSON, D.S. An extration method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.19, p.703-707, 1987.

WELC, M.; BÜNEMANN, E. K.; FLIEßBACH, A.; FROSSARD, E.; JANSA, J. Soil bacterial and fungal communities along a soil chronosequence assessedby fatty acid profiling. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 49, p. 184-192, 2012.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS I. C; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 256-265, Mar. 2012.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto – RS**, 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CAPÍTULO 3 – UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO NA CLASSIFICAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO SOB DIFERENTES AMBIENTES DE MANEJO

RESUMO – O índice de qualidade do solo (IQS) utiliza atributos químicos, físicos e biológicos como parâmetros de entrada para análise, cuja importância está relacionada com as funções que capacitam o solo a integração das suas propriedades, que o habilita a exercer suas funções na plenitude. Assim, objetivou-se com esse trabalho a utilização do índice de qualidade do solo (IQS) como uma ferramenta de análise edáfica, que promova a determinação da qualidade de um Latossolo em resposta ao uso da terra e aos ambientes de manejo. Para isso, foram analisados 5 ambientes de manejo: Cerrado Nativo; Plantio direto; Silvicultura; Pastagem; e Agrofloresta. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três amostras de solo retiradas na camada de 0 a 20 cm, compondo as repetições. As variáveis estudadas foram agrupadas de acordo com cada uma das funções do solo: (PEA) - Permitir a entrada de água, (FDA) - Facilitar a disponibilidade de água e o crescimento das raízes, (RDE) - Resistir à degradação estrutural e (SQP) – Sustentar a qualidade e a produtividade e inseridas no modelo geral de IQS para análise de variância, discriminação das médias, Scott-Knott ($p<0,05$) e classificação dos ambientes pela qualidade edáfica. O modelo utilizado permitiu discriminar de forma significativa os ambientes estudados, em que os solos sob cerrado nativo, plantio direto, pastagem e silvicultura apresentaram qualidade média e os solos sob agrofloresta classificados com nível ótimo. Enquanto os índices de qualidade não diferiram entre os ambientes, para as funções de permitir a entrada de água e facilitar o crescimento de raízes, a qualidade edáfica foi reduzida para a função de resistir a degradação estrutural com a utilização de manejos que promovem a mobilização do solo por intervenção antrópica ou pisoteio animal. Os menores índices de qualidade nos ambientes para a função de sustentação da qualidade e produtividade foi condicionada pelo aumento da acidez e redução da fertilidade química e da atividade microbiana.

Palavras Chave: Modelagem, Atributos dos solos, Sustentabilidade

CHAPTER 3 - USE OF THE SOIL QUALITY INDEX IN THE CLASSIFICATION OF A DISTROPHERIC RED LATOSOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT ENVIRONMENTS

SUMMARY- The soil quality index (SQI) uses chemical, physical and biological attributes as input parameters for analysis, whose importance is related to the functions that enable the soil to integrate its properties, which enables it to exercise its functions in fullness. Thus, the objective of this work was to use the soil quality index (SQI) as an edaphic analysis tool, which promotes the determination of the quality of an Oxisol in response to land use and management environments. For this, 5 management environments were analyzed: Cerrado Nativo; No-tillage; Forestry; Pasture; and Agroforestry. The experimental design was completely randomized with three soil samples taken from the 0 to 20 inches layer, composing the repetitions. The variables studied were grouped according to each of the soil functions: (AWE) - Allow water to enter, (FWA) - Facilitate water availability and root growth, (RSD) - Resist structural degradation and (SQP) - Sustaining quality and productivity and inserted in the general QSI model for analysis of variance, discrimination of means, Scott-Knott ($p < 0.05$) and classification of environments by edaphic quality. The model used allowed to significantly discriminate the studied environments, in which the soils under native savannah, no-tillage, pasture and forestry presented medium quality and the soils under agroforestry classified with optimum level. While the quality indexes did not differ between environments, for the functions of allowing water to enter and facilitate the growth of roots, the edaphic quality was reduced to the function of resisting structural degradation with the use of managements that promote the mobilization of the anthropic intervention or animal trampling. The lowest levels of quality in the environments for the function of sustaining quality and productivity were conditioned by the increase in acidity and reduction of chemical fertility and microbial activity.

Keywords: Modeling, Soil Attributes, Sustainability

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é definida por Doran & Parkin (1994), como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para a produtividade de plantas e animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana. Entender e conhecer a qualidade do solo possibilita manejá-lo de maneira que ele funcione de forma otimizada no presente e se mantenha sustentável para o futuro.

Segundo Tótola & Chaer (2002) a avaliação da qualidade do solo requer um método sistemático para se medir e interpretar com acurácia as propriedades adequadamente como parâmetros indicadores de sua qualidade. Embora sua avaliação seja uma tarefa complexa por se tratar de uma gama de componentes interdependentes, a determinação da qualidade dos solos se apresenta como uma ferramenta relevante na avaliação da sustentabilidade dos ambientes manejados ao longo do tempo (Hussain et al., 1999).

Os índices de qualidade do solo podem ser definidos por meio de um modelo matemático que inclua os atributos do solo considerados (Doran & Parkin, 1994; Tótola & Chaer, 2002). Assim, a soma dos efeitos dos atributos selecionados (quantificados pelos seus respectivos indicadores), que são determinantes da qualidade do solo de um dado ambiente, é expresso no índice de qualidade (Burger & Kelting, 1999).

Portanto, o desenvolvimento de um índice de qualidade do solo deve seguir três etapas: (1) seleção de indicadores, (2) atribuição de pontuação para indicadores selecionados e (3) a integração de indicadores em um índice (Karlen et al., 2003). Embora a qualidade do solo possa ser avaliada utilizando indicadores de forma independente, é preferível combinar alguns deles em modelos, que possa fornecer informações integradas sobre processos e funcionamento do solo (Van Leeuwen et al., 2015).

Karlen & Stott (1994) sugeriram um modelo aditivo simples que foi testado por (Lima et al., 2013; Nakajima et al., 2015; Stefanoski et al, 2016). Uma das abordagens está relacionada ao uso de índices gerados, em que as mudanças na qualidade são avaliadas por intermédio da mensuração de indicadores apropriados e pela sua comparação com valores desejáveis (Araujo et al., 2012).

As dificuldades na utilização desses procedimentos são em decorrência de fatores multidisciplinares complexos, que envolvam a escolha de indicadores representativos, limites críticos para padronização e a integração desses processos em um (índice de qualidade do solo) que possa ser comparado entre várias práticas de manejo, ao longo do tempo, em ecossistemas agrícolas, florestais e pecuários, e ser bastante flexível e de relativa facilidade de utilização (Araújo et al, 2012).

Com isso, o IQS permite a determinação dos impactos do manejo (Fernandes et al., 2011) e das espécies vegetais (Zhang et al, 2015) nas funções do solo. Esses procedimentos permitem ponderar várias funções, dependendo do foco da pesquisa e das preocupações socioeconômicas.

Portanto, o objetivo de estudo foi utilizar o modelo matemático de IQS para determinar a qualidade edáfica para o Latossolo Vermelho distroférrico condicionadas pelas alterações de uso e manejo dos ambientes nas áreas do Cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Identificação e caracterização da área

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Goiás, na Regional Jatai/Campus Jatobá, sob coordenadas (51°42’54.17” O; 17°55’26.84’’S), onde predomina o Latossolo Vermelho distroférrico, com teor de argila entre 30 e 60%, considerado de textura argilosa (Santos, 2018).

O clima desta região é caracterizado, de acordo com a classificação de Koppen, como *Aw* ou Tropical de Savana, com chuvas concentradas no verão e seca persistente no inverno, Alvares et al. (2013). A temperatura média anual varia de 18 a 25° C e a pluviometria média anual oscila em torno de 1.600 mm. (INMET, 2019).

Para proceder com a determinação dos parâmetros do modelo IQS, uma amostragem de solo foi realizada em março de 2019 em cada sistema de manejo avaliado, quadro 4 e aleatorizadas dentro de parcelas de 1 hectare. Para cada conjunto de variáveis (físicas, químicas e biológicas) foram retiradas e georreferencias 3 amostras, nas profundidades de 0 a 20 cm. Posteriormente, foram armazenadas e levadas imediatamente para avaliação. A realização das análises químicas e biológicas foram realizadas por laboratório terceirizado e credenciado junto à Embrapa. Os ensaios físicos do solo foram realizados no laboratório de física dos

solos da Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí. Foram realizadas avaliações preliminares das áreas com intuito de se construir um histórico de uso e ocupação desses ambientes, (Quadro 4).

Quadro 4. Descrição do uso e manejo do solo para os ambientes avaliados

Uso e Manejo do solo	Descrição
	Latossolo Vermelho distroférrico (LVd)
Cerrado Nativo	Área de (20 ha) com mata fechada com serapilheira espessa, sem intervenção antrópica.
Sistema Plantio direto	(2004) Área com (14,9 ha) que por 15 anos é utilizada com rotação de culturas, (Soja na 1° safra – outubro a janeiro) e (Sorgo ou Milho na 2° safra – janeiro a julho). No restante do ano a área é mantida em pousio. Calagem: Em 2014 e 2016 foi aplicado 2 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico em área total, além de adubação corretiva com 30 kg ha^{-1} de K_2O e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5
Silvicultura	(2012) - Área de (3 ha) utilizada a 7 anos com implantação da eucaliptocultura, plantio: subsolagem + plantio em covas, Adubação: Utilizada a formulação NPK 04-14-08 (com 12% de Ca e 10% de S) na quantidade de 150 gramas por cova. (2013) - adubação de cobertura com Nitrogênio, Potássio e Boro, nas respectivas dosagens 60, 40 e 3 kg. ha^{-1}. Conteúdo médio de Areia, Silte e Argila: 184,2; 224 e 591,8 g kg^{-1}
Pastagem	(2005) - A área (10,2 ha) utilizada a 14 anos como área de pastagem cultivada. Calagem: Em área total 2 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico Adubação: 40 kg ha^{-1} de K_20 e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5, (2014) - aplicação de 1 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico a lanço sob a pastagem. (2017) - terraceamento da área em curvas de nível de 30 em 30 metros
Agrofloresta	(2015) - A área (4,3 ha) é utilizada por 4 anos no sistema agroflorestal com a implantação de diversas espécies arbóreas, frutíferas, além de culturas anuais. Na implantação foi feita adubação mineral com 4 Mg $há^{-1}$ de pó de rocha + termofosfato yoorim na proporção de 2 Mg ha^{-1} e adubação orgânica com 3 m^3 ha^{-1} de esterco + restos vegetais).

O conjunto das variáveis mensuradas, assim como a metodologia aplicada na sua determinação estão descritas no (Quadro 5).

Quadro 5. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo e métodos utilizados para sua determinação

Indicador	Metodologia Utilizada	Referências
	Físico	
Densidade	Anel volumétrico	EMBRAPA (2017)
Diâmetro médio ponderado	Via úmida	Salton et al., (2012),
Resistencia do solo à penetração	Penetrômetro digital	Molin et al., (2012)
Volume total de poros	Método Indireto	EMBRAPA (2017)
	Químico	
V%	Saturação por bases	EMBRAPA (2017)
P e K	Extrator Mehlich-1	EMBRAPA (2017)
CTC	C.T.C	EMBRAPA (2017)
Acidez total (pH)	Água, relação 1:2,5	EMBRAPA (2017)
Nitrogênio Total	Método Kjendal	EMBRAPA (2017)
m%	Saturação de alumínio	EMBRAPA (2017)
	Biológico	
Carbono orgânico	Método Walkley & Black	EMBRAPA (2017)
C- Biomassa microbiana	Extração-fumigação	Vance et al., (1987)
Matéria Orgânica	Método colorimétrico	EMBRAPA (2017)
Fauna edáfica	Berleese- Tulgren modificado	Rodrigues et al (2008)

2.2 Análises estatísticas aplicadas aos índices de qualidade

As variáveis mensuradas foram submetidas aos testes de normalidade e análise de variância. Em seguida, foram agrupadas de acordo com cada uma das funções do solo com base nos estudos de (Glover et al 2000; Melo Filho et al, 2009; Lima et al, 2016), para permitir indexação das variáveis e o cálculo do índices de qualidade. Os índices calculados para cada ambiente foram submetidos a discriminação de médias Scott - Knott ($p<0.05$), com auxílio do software Genes (Cruz, 2013). Por fim, foi realizado a classificação dos ambientes pelo IQS em 3 níveis (IQS < 0,50 Ruim, entre 0,5 e 0,7 médio e ≥ 0,7 ótima), conforme proposto por (Souza, 2005).

2.3 Determinação dos índices de qualidade de solo

Para determinação do Índice de qualidade dos solos, nos diferentes ambientes de manejo foi utilizado o modelo aditivo de curvas logísticas de pontuação padronizadas proposto por Karlen & Stott (1994), conforme Equação (1):

$$Q = \sum_{k=1}^{4} q_k \qquad (1)$$

Nesta expressão, Q representa a qualidade do solo e q_k são pontuações atribuídas as funções, *k*, do solo de permitir a entrada de água (q_1), de facilitar a movimentação da água e crescimento das raízes (q_2), de resistir à degradação estrutural (q_3) e de sustentar a qualidade e a produtividade (q_4), calculadas de acordo com a Equação (2):

$$q_k = \sum_{i=1}^{n} w_k t_i \, f(x) \qquad (2)$$

w_k -são os pesos numéricos de cada função, *i*, do solo definidos de acordo com a importância desses atributos em preencher todos os requisitos que mantêm a qualidade do solo sob uma condição específica de uso, para todas as 4 funções foi determinado os valores de 0,25, considerando igualdade entre elas. O somatório dos pesos de todas as funções principais q_k foi igual a 1,0.

t_i – são os pesos de cada indicador que influenciam cada uma das funções, em diversos graus, sendo o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível igual a 1,0

Os pesos foram atribuídos de acordo com o grau de importância destas variáveis, no desempenho da função para a qual o índice está sendo calculado, (Tabela 6). Portanto, para facilitar a distribuição dos ponderadores foi adotado o método proposto por Chaer (2001) que sugere a estratificação dos indicadores denominados nível 1 compostos por indicadores de nível 2. Assim, o indicador “componentes orgânicos” nível 1 foi estratificado nos teores de carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico. Da mesma forma, o indicador “Nutrientes minerais” foi subdividido em um segundo nível composto pelos teores de Fósforo, Potássio e

Nitrogênio total. Assim como o indicador “acidez toxidez” foi composto por pH e saturação por alumínio (m%).

f(x) é uma função de pontuação padronizada que normaliza a medida do indicador para valores entre 0 e 1,0.

Tabela 6. Agrupamento das variáveis por função de solo e pesos adotados para ponderação dos indicadores de solo, adaptado de Chaer, (2001).

Função	Peso Wi	Indicadores Nv 1	Peso (Ti)	Indicadores Nv 2	Peso (2)
1 -Permitir a entrada de água (q_1)	0,25	DS	0,1		
		MO	0,5		
		RP	0,15		
		VTP	0,25		
2 - Facilitar a movimentação de água e crescimento de raízes (q_2)	0,25	RP	0,1		
		VTP	0,5		
		Fauna Edáfica	0,05		
		Matéria Orgânica	0,35		
3 - Resistir a degradação estrutural (q_3)	0,25	RP	0,1		
		VTP	0,1		
		Componentes orgânicos	0,45	C-BM	0,5
				CO	0,5
		Fauna edáfica	0,05		
		DMP	0,3		
4 - Sustentar a qualidade e a produtividade (q_4)	0,25	Nutrientes Minerais	0,25	N -total	0,4
				k	0,2
				P - Lábil	0,4
		V%	0,15		
		CTC	0,15		
		Acidez/ toxidez	0,2	Ph (H20)	0,6
				m%	0,4
		Componentes orgânicos	0,25	CO	0,3
				C-Bm	0,7

DMP- Diâmetro médio ponderado; DS – Densidade do solo; MO – Matéria orgânica; RP- Resistência a penetração mecânica; VTP – volume total de poros; CO- carbono orgânico; C-BM – carbono da biomassa microbiana; CTC- Capacidade de troca de cátions; pH- potencial hidrogeniônico; P-Lábil - fósforo lábil; K – Potássio; V% - saturação de bases na CTC; m% - saturação de Alumínio tóxico

2.4 Padronização dos atributos indicadores

Para o presente estudo foram determinadas 3 curvas de pontuação padronizada *f(x)*, onde a melhor funcionalidade do solo foi associada a valores altos, baixos ou intermediários. As curvas de padronização do tipo “mais e melhor” e “menos é melhor”: foram geradas a partir equação 3 propostas por (Wymore, 1993).

$$f(x) = \frac{1}{1+((B-L)/(x-L))^{2S(B+x-2L)}} \qquad (3)$$

Em que: B é o valor na linha-base da propriedade do solo, onde a pontuação equivale 0.5; L é o valor da faixa-limite, em que Li (valor limite inferior) foi adotado para as curvas do tipo “ menos é melhor” e Ls (valor limite superior) foi aplicado nas curvas do tipo “mais é melhor”; S é a inclinação da tangente da curva na linha-base; e *x* é o valor da propriedade, *i*, do solo.

Para a padronização dos dados para a curva do tipo “ótima” utilizou-se uma função derivada da Equação (3), obtendo, assim a expressão da Equação 4:

$$f(x) = \frac{((B-L)/(x-L))^{2S(B+x-2L)}}{\frac{1}{4S}\left(1+\left(\frac{B-L}{x-L}\right)^{2S(B+x-2L)}\right)^2} \qquad (4)$$

Para aplicar-se a equação 3, inicialmente foi necessário calcular a inclinação (S) da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador equação 5, e são apresentados na (Tabela 7).

$$S = \left(\frac{\frac{(\log\left(\frac{1}{n}\right)-1)}{(B-L)}}{(x-L)}\right) * 2x(B + 2x * L) \qquad (5)$$

Tanto as curvas de padronização quanto os valores-limite – superior, inferior e crítico foram criteriosamente estabelecidos (Tabela 7). Para tal foram utilizadas informações específicas encontradas na literatura e em condição de semelhança com o tipo de solo para o presente estudo.

Tabela 7. Valores limites utilizados para padronização dos indicadores de qualidade do solo

Indicador	Unidade	Limites (L)			S	Fontes
		B	Li	Ls		
Densidade do solo	kg dm^{-3}	1,25	0,75	1,8	-2,610	Glover et al (2000)
Diâmetro médio de partículas	mm	1,5	0,1	3	1,210	Chaer (2001)
Resistencia à penetração	MPa	1,2	0,6	2,2	-3,000	Camargo et al (1986)
Volume total de poros	m^3 m^{-3}	0,55	20	80	0,013	Raij (1979)
Saturação de bases V%	%	40	5	85	0,064	Ronquin, (2010); Souza e Lobato(2004)
P – Lábil (Solos argilosos)	mgdm³	8,1	0	50	0,250	Souza (2016)
Potássio (K) – CTC > 4		80	25	150	0,048	Souza e Lobato (2004)
CTC	cmoldm³	6,1	0	12,5	0,340	Souza e Lobato, (2004)
pH (H_2O)	-	5	3	7	0,660	Souza e Lobato (2004)
Nitrogênio Total	Kg ha^{-1}	0,2	0	5,1	10,45	Chaer (2001
Saturação de alumínio m%	%	15	0	45	-0,504	Souza e Lobato, (2004)
Carbono orgânico	%	1,5	0,4	3	2,980	Chaer (2001)
Carbono biomassa microbiana	g g^{-1}	490	270	950	0,0037	Chaer (2001)
Matéria orgânica	%	2	4	5	2,706	Souza e Lobato (2004)
Fauna edáfica	(n°m³)	15000	150	30000	0,0002	Baretta (2011)

A função “mais é melhor” (Equação 3 e Figura 4 a) foi aplicada para os seguintes atributos: matéria orgânica, carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana, capacidade de troca de cátions, saturação de bases, fauna edáfica e teores nutricionais de fósforo e nitrogênio total. Tais atributos foram considerados preponderantes na determinação dos índices de qualidade do solo, principalmente quando presentes no solo em teores mais elevados.

A função "ótima" (Equação (4) e Figura 4 b) foi aplicada ao pH, diâmetro médio ponderado, volume total de poros. Enquanto a função “menos é melhor” (Equação (3) e Figura 4 c) foi aplicada para os atributos: saturação de alumínio, densidade do solo

e resistência a penetração. Isto significa que esses atributos em menores valores são considerados bons para a qualidade dos solos.

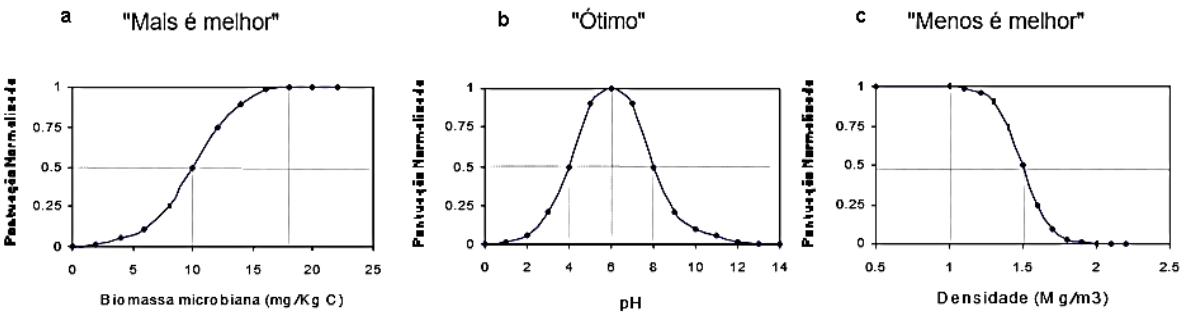

Figura 4. A equação (3) e (4) geram três tipos de curvas padronizadas, as quais foram usadas para se avaliar a qualidade do solo, a saber: (a) "mais é melhor" (ex, Biomassa microbiana); e (b) "ótimo" (ex, pH), (b) "menos é melhor" (ex,: Densidade do solo). Fonte: (Chaer, 2001).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Índice de qualidade por função de solo

Não foram observadas diferenças estatísticas entres os índices de qualidade para os ambientes de uso para a funções de permitir a entrada de água (PEA) e de facilitar a disponibilidade de água e crescimento das raízes (FDA), (Figura 5). Tais resultados podem estar atribuídos a baixa variabilidade encontrada entre as variáveis matéria orgânica e volume total de poros nos ambientes estudados.

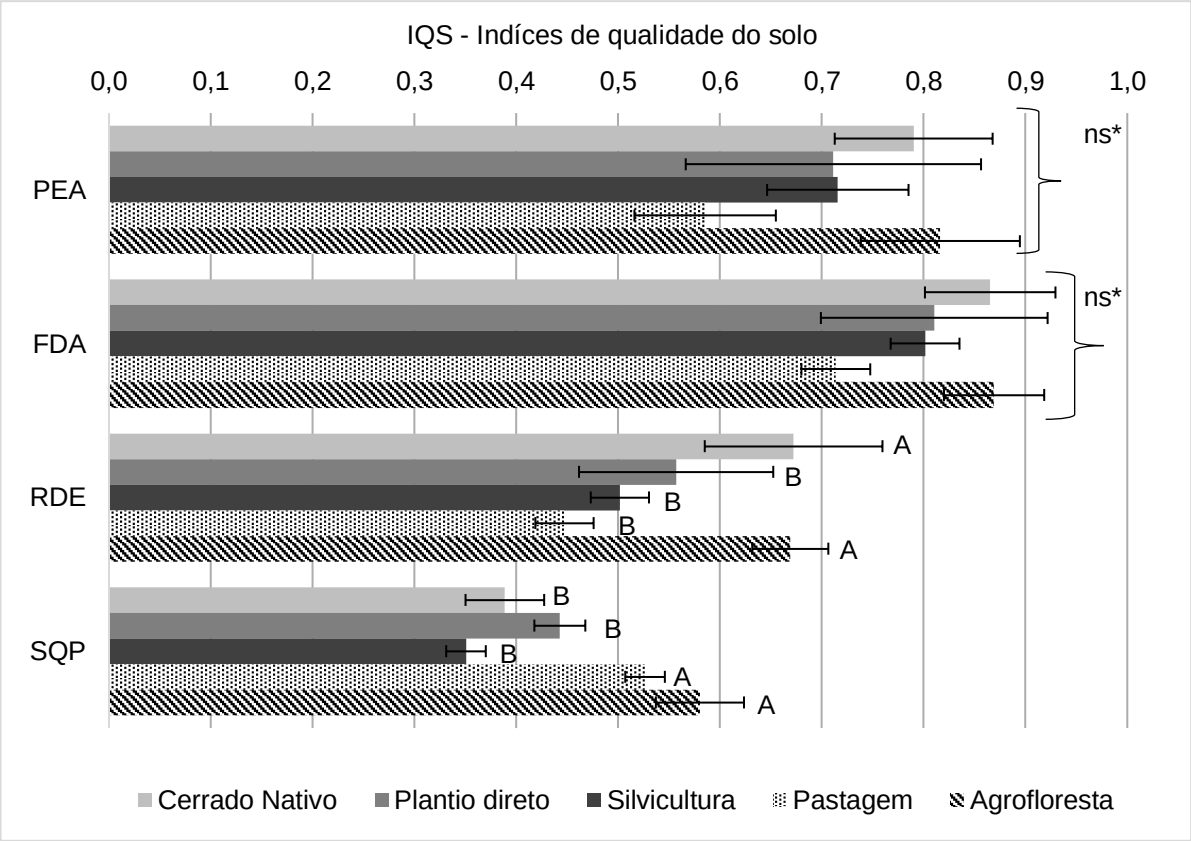

Figura 5. Índices de qualidade por função de solo em cada ambiente de manejo. PEA – permitir a entrada de água; FDMA – facilitar a movimentação da água e crescimento radicular; RDE – resistir a degradação estrutural; SQP- sustentar a qualidade e a produtividade; Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Skott-knott ($p<0,05$); ns* - não significativo; Barra de erros: Desvio padrão.

Em contrapartida a resistência à penetração e a densidade do solo normalizadas foram menores nos solos sob pastagem e plantio direto, (Figura 6). Segundo Araújo et al. (2007) pode ser explicada pela estreita relação entre a redução da infiltração de água no solo em função da compactação causada por estresse físico do solo, fator que contribui para reduzidas pontuações padronizadas e consequentemente índices de qualidade menores nesses ambientes.

Para agrofloresta e cerrado nativo foram observados os maiores índices respectivamente, seguidos por silvicultura e plantio direto, assim classificados como de ótima qualidade para a entrada de água e crescimento de raízes. Já as áreas manejadas sob pastagem consideradas de qualidade média apresentaram os menores IQS. Para Stefanoski et al, (2016) a incorporação do solo de cerrado nativo

em áreas agrícolas diminui a qualidade do solo. Portanto, considerando os valores de IQS é possível prever a redução da performance desses ambientes para desenvolver suas funções se comparado a ambientes de Cerrado natural.

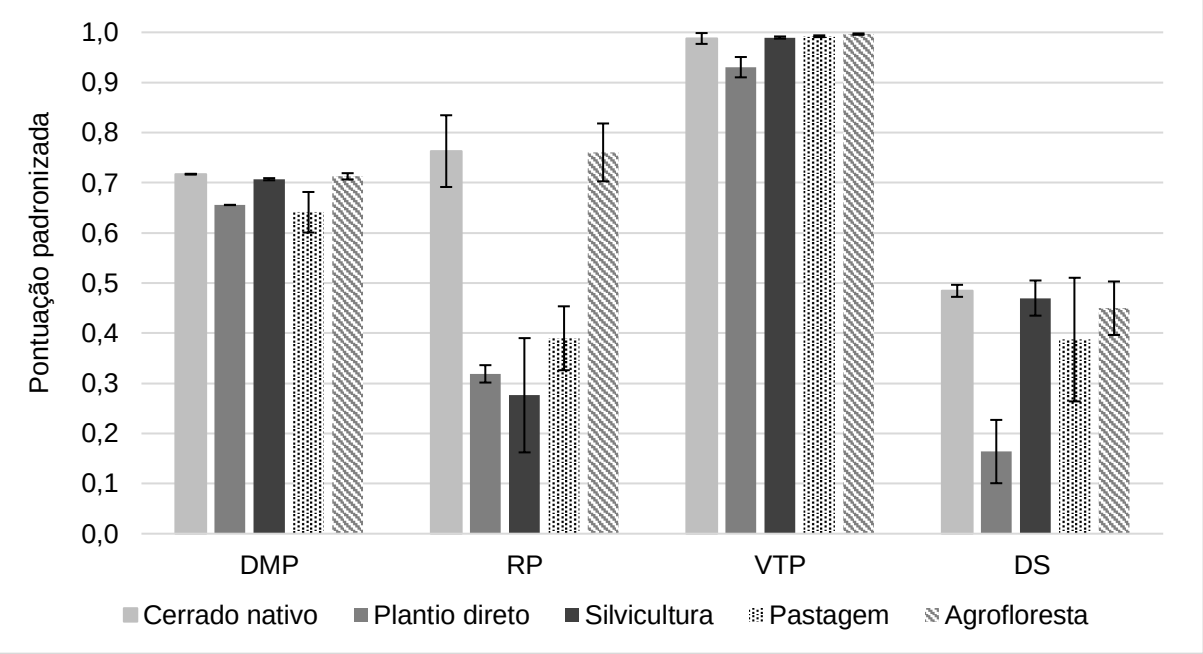

Figura 6. Gráfico da normalização dos indicadores físicos do solo para os ambientes de manejo. DMP- diâmetro médio ponderado; RP – resistência a penetração; VTP- volume total de poros; DS- densidade do solo. Barra de erros: erro padrão da média.

A resistência do solo a degradação (RDE), apresentou diferença significativa ($p<0,05$) entre os tratamentos, em que cerrado nativo e agrofloresta apresentaram os maiores índices para essa função 0,672 e 0,669, respectivamente, enquanto os manejos plantio direto, silvicultura e pastagem obtiveram as menores notas (Figura 5). Explicado em partes pela variabilidade na normalização dos atributos RP e C-Bm, figuras 6 e 7, importantes na análise da estabilidade dos agregados e nos estudos de degradação do solo.

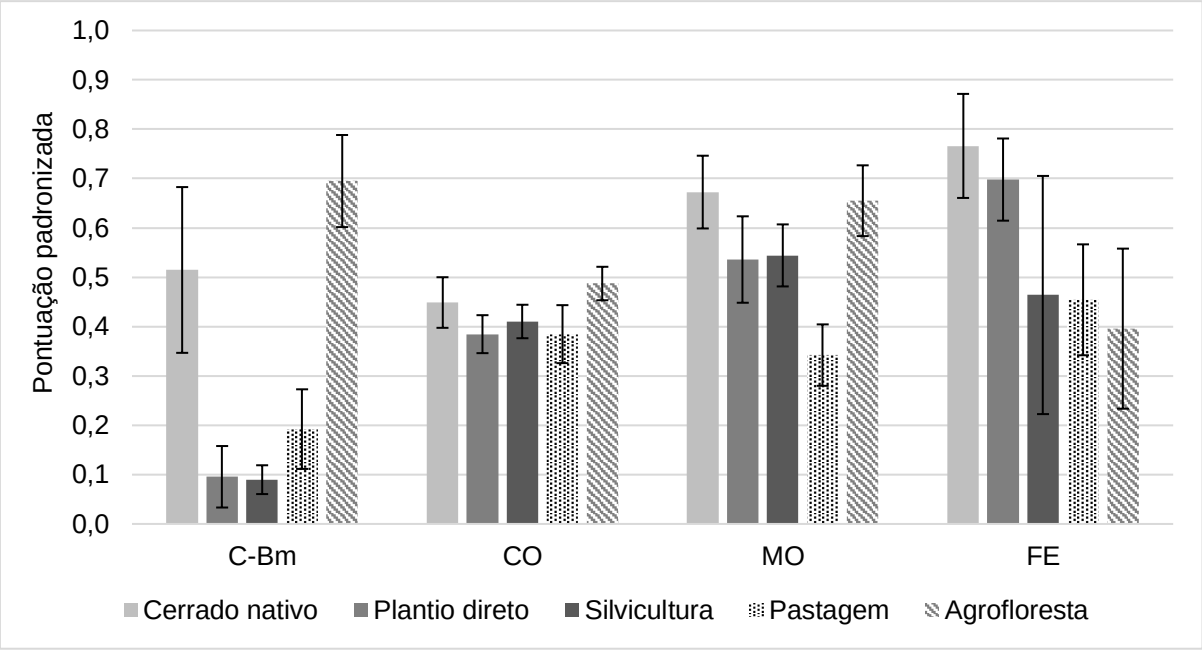

Figura 7. Gráfico da normalização dos indicadores biológicos do solo para os ambientes de manejo. CBM- carbono da biomassa microbiana; CO – Carbono orgânico; MO- matéria orgânica; FE – fauna edáfica; Barra de erros: Erro padrão da média.

Para Staben et al. (1997) a degradação da qualidade do solo pelo cultivo é manifestada principalmente por processos erosivos, redução de matéria orgânica, perda de nutrientes, redução de populações microbianas, compactação do solo, aumento do escoamento superficial entre outros.

Com isso, através dos índices estabelecidos, o solo sob pastagem foi classificado como de nível ruim, enquanto os demais ambientes foram consideradas de nível médio. Para Rodrigues et al. (2018) as áreas agroflorestais apresentam as melhores condições do solo para desenvolvimento das culturas e menor degradação do mesmo.

Nos estudos de Niero et al. (2010), em um Latossolo Vermelho distroférrico, indicaram que o uso intensivo do solo contribuiu para o aumento da fragilidade física se comparados aos sistemas com baixa mobilização. Corroborando com os resultados do presente estudo em que solos sob agrofloresta se aproximaram de condições encontradas para os solos naturais do cerrado para os atributos indicadores ligados a resistência do solo a degradação.

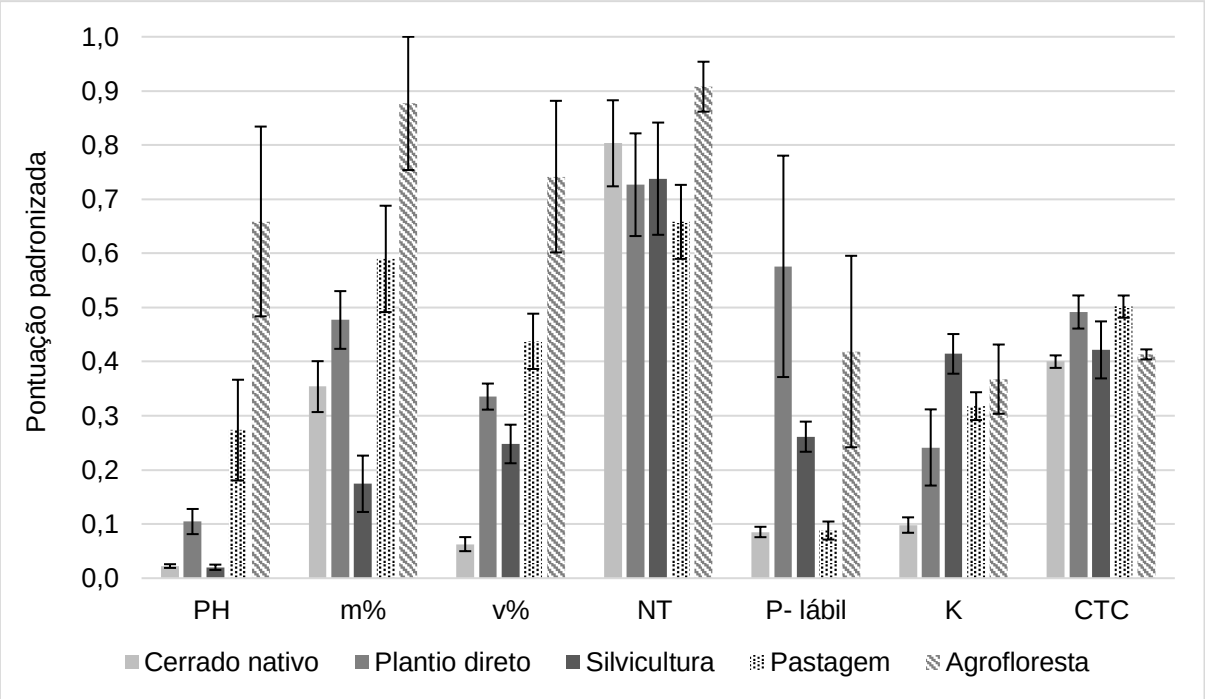

Figura 8. Gráfico da normalização dos indicadores químicos do solo para os ambientes de manejo. Ph – potencial hidrogeniônico; m% - saturação de alumínio; v% saturação por bases; NT- nitrogênio total; P-lábil – fósforo; K – Potássio; CTC- capacidade de troca de cátions; barra de erros: Erro padrão da média.

A função de sustentar a qualidade e a produtividade (SQP) foi a mais afetada entre as funções avaliadas pela mudança dos ambientes naturais do cerrado. Portanto, foi observado alterações significativas entre os ambientes ($p<0,05$), onde agrofloresta e pastagem apresentaram os maiores valores, estatisticamente diferentes de silvicultura plantio direto e cerrado natural. Esses resultados são explicados em partes pela ponderação dos atributos químicos utilizados para essa função, em que se observou uma variação acentuada no Ph, saturação de bases (v%), P-lábil e K e para C-Bm, (Figura 7 e 8).

Segundo Ronquin et al. (2010) em solos tropicais com poder tampão reduzido ocorre facilmente um desequilíbrio pela adição de fertilizantes. Para o mesmo autor isso pode ser evitado com a manutenção de um nível adequado de matéria orgânica no solo. Os teores de matéria orgânica não apresentaram variabilidade entre os ambientes e se encontram dentro dos limites adequados para esse tipo de solo no presente estudo.

Portanto, as diferenças encontradas na qualidade podem estar associadas ao comportamento das gramíneas na produção de biomassa vegetal e reciclagem de nutrientes nas áreas de pastagem. As gramíneas por apresentarem raízes fasciculadas em bastante concentração nas camadas iniciais dos solos resultam em uma maior adição de carbono orgânico ao sistema, sendo importantes no metabolismo e crescimento microbiano, responsáveis pelos processos biogeoquímicos dos nutrientes (Assis Junior et al., 2003; Carneiro et al.,2009; Assis et al.; 2019). Além da incorporação de resíduos orgânicos 3 Mg ha^{-1} realizados no sistema agroflorestal que contribuiu no aumento do escore da qualidade para esse ambiente. Com isso, os Latossolos sob agrofloresta e pastagem foram classificados como nível médio de qualidade e os demais ambientes como de nível ruim.

Nesse sentido, os ambientes que promovem correções de acidez e adubação apresentam melhores condições para garantir a produtividade das áreas agrícolas. (Souza & Alves, 2003; Fontana et al, 2006; Fonseca et al, 2007, Ronquin et al, 2010). A calagem por exemplo influiu sobre a soma de bases, elevando a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Portanto, a construção da fertilidade é essencial para garantir a produtividade e qualidade de sistemas agrícolas, agroflorestais e pecuários ultrapassando as limitações iniciais (Kappes & Zancanaro, 2014) e com o decorrer do tempo apresentar condições químicas, físicas e biológicas adequadas para as culturas expressarem seu potencial produtivo (Bortolon et al., 2016).

3.2. Índice final de qualidade dos solos

A figura 9 apresenta o box-plot dos índices de qualidade para os 5 ambientes de manejo, onde observa-se os maiores valores encontrados para Agrofloresta estatisticamente semelhante ($p<0,05$) as áreas de Cerrado, que se apresentou como o segundo maior índice. Esses ambientes diferindo de SPD, Silvicultura e Pastagem com menores IQS na sequência.

Tal fator foi observado em condições de solos para o cerrado por (Melloni et al, 2008; Leite Chaves et al, 2017), em suas avaliações de qualidade com a aplicação de diferentes índices.

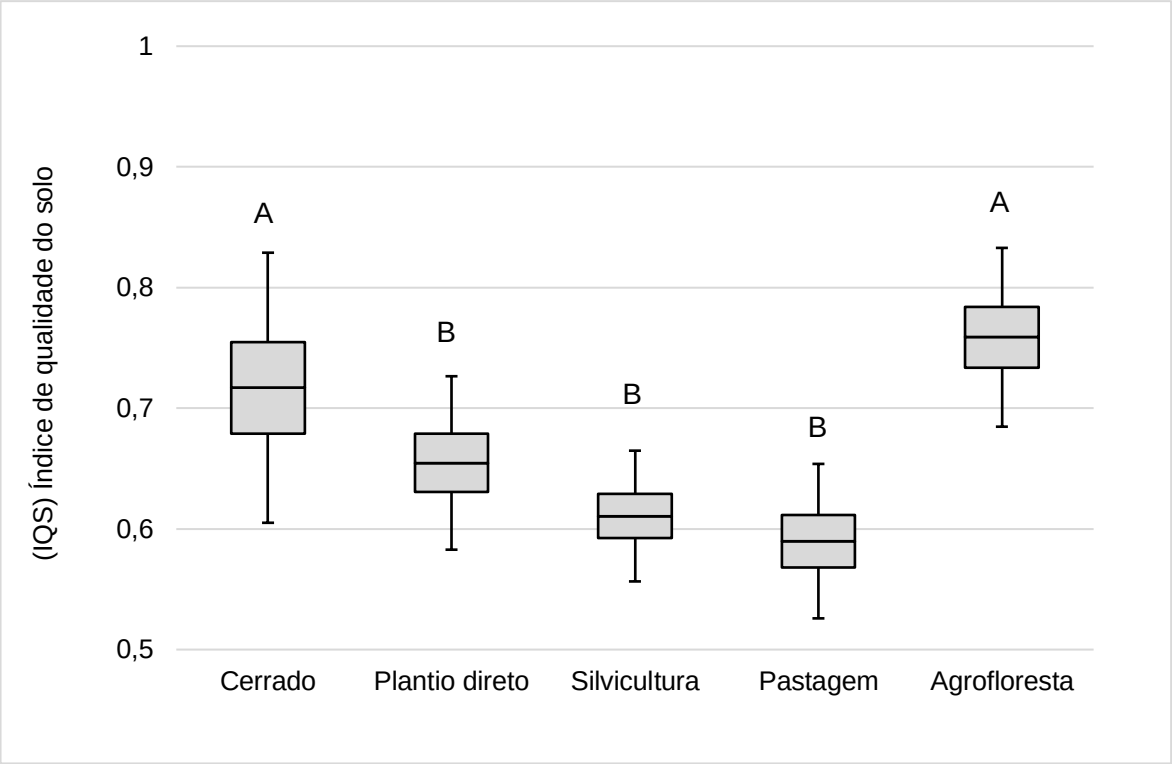

Figura 9. Box-plot dos índices de qualidade do solo para os 5 ambientes de manejo avaliados. Barras de erro: +/- intervalo de confiança; centro: média geral; caixa: +/- Erro padrão da média.

A utilização de manejos conservacionistas como os sistemas de integração agroflorestal promovem a incorporação de resíduos agrícolas o que geralmente melhora a MO e NT diretamente, e induz o acúmulo de C e N (Raiesi, 2006; Huang et al., 2007; Qi et al, 2009).

Macedo et al, (2010) ainda afirmam a relevância da estratificação do sistema radicular das plantas nos sistemas agroflorestais permitindo que as raízes explorem maior volume de solo, com isso a competição entre os indivíduos diminui e a eficiência na reciclagem de nutrientes aumenta, principalmente aqueles facilmente lixiviados, como é o caso do potássio (K).

Com isso, a classificação final do IQS foi limitada às classes utilizadas por Melo Filho et al. (2009); Freitas et al., (2012): IQS < 0,50 (ruim); IQS entre 0,50 a 0,70 (média); e IQS ≥ 0,71 (ótima), e apresentado nos escores da Tabela 8. Enquanto os ambientes CN, PD, S e P foram classificados como nível médio, apresentando tendência de redução da qualidade com a intensidade de uso, o sistema agroflorestal obteve nível ótimo de qualidade.

Tabela 8. IQS por função do solo e IQS total para os 5 ambientes de uso do solo avaliados

Usos do solo	Funções do Solo				IQS	Classes
	PEA	FDA	RDE	SQP		
Cerrado Nativo	0,790 ns	0,865 ns	0,672 a	0,389 b	0,679 a	Médio
Plantio direto	0,711	0,810	0,557 b	0,443 b	0,630 b	Médio
Silvicultura	0,716	0,801	0,502 b	0,351 b	0,592 b	Médio
Pastagem	0,585	0,714	0,447 b	0,526 a	0,568 b	Médio
Agrofloresta	0,816	0,869	0,669 a	0,580 a	0,734 a	Ótimo
CV%	12,19%	8,01%	11,04%	9,03%	7,12%	

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott- knott ($p<0,05$); ns – Não significativo para os tratamentos avaliados; CV% - coeficiente de variação dos tratamentos, PEA-Permitir a entrada de água; FDA-Facilitar a movimentação e a disponibilidade de água; RDE-resistir a degradação estrutural; SQP-Sustentar a qualidade e a produtividade, CN- Cerrado nativo; PD-Plantio direto; S- Silvicultura; P- Pastagem; AF- Agrofloresta

Em solos sob agrofloresta onde efetuou-se em área de pastagem anteriormente degradada a incorporação de resto vegetais e de adubação orgânica, após 4 anos de implantação do sistema foi possível perceber um aumento significativo da qualidade do solo com escores 27% maiores que em comparação a área de Pastagem e 8% aos ambientes naturais do cerrado. Gontijo Neto et al, (2018) em sistema integrado com 10 anos de implantação em Latossolos no munícipio de Unaí – MG, afirmou acréscimo na qualidade do solo em níveis semelhantes a áreas nativas. Em contrapartida, notou-se decréscimo de 16% nos IQS em solos sob 14 anos de pastagem em relação as áreas de cerrado nativo.

Alguns autores (Carneiro et al, 2009; Macedo, 2009; Assis et al, 2015) apresentaram em seus estudos as influências positivas da adoção dos sistemas integrados no aumento da matéria orgânica e carbono orgânico. Além dos resultados produtivos alcançados com a sucessão de culturas e o consórcio entre espécies forrageiras, frutíferas e perenes.

Assim, os sistemas de produção atuais devem se embasar na intensificação sustentável de recursos, combinados com o uso das melhores tecnologias e insumos disponíveis com intuito de minimizar os danos causados pela antropização dos ambientes do Cerrado.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados do modelo IQS aplicado a 5 ambientes de manejo sobre um Latossolo Vermelho distroférrico, foi possível concluir que a utilização da ferramenta IQS foi capaz de avaliar as diferenças entre os solos condicionadas pelos ambientes de manejo.

Os ambientes agrofloresta e cerrado nativo possuem os maiores escores para a qualidade final, diferindo dos sistemas plantio direto, silvicultura e pastagem;

O ambiente manejado sob sistema agroflorestal destaca-se com qualidade “ótimo”; os demais ambientes mantêm-se com qualidade “média”;

Não há diferença entre os ambientes para as funções ‘permitir a entrada de água’ e facilitar o crescimento de raízes’;

A qualidade edáfica foi reduzida para a função de resistir a degradação estrutural com a utilização de manejos que promovem a mobilização do solo por intervenção antrópica ou pisoteio animal, nos ambientes de pastagem, silvicultura e plantio direto

Os menores valores de IQS, para a função de ‘sustentação da qualidade e produtividade’, são condicionados pelo aumento da acidez e redução da fertilidade química e da atividade microbiana.

5. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Sttutgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, R; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C., NEVES, J. C. L., & LANI, J. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ASSIS, P. C., STONE, L. F., MEDEIROS, J. C., MADARI, B. E., OLIVEIRA, J. D. M., & WRUCK, F. J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.19, n.4, p.309–316.2015.

ASSIS, P. C. R., STONE, L. F., DE MOURA OLIVEIRA, J., WRUCK, F. J., MADARI, B. E., & HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária floresta. **Agrarian**. v.12, n.43, p.57-70, Dourados, 2019.

ASSIS JÚNIOR, S. L.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2003.

BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., SEGAT, J. C., GEREMIA, E. V., OLIVEIRA FILHO, L. D., & ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 7, p. 119-170, 2011.

BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; CAMARGO, F. P.; BORGHI, E. **Obtenção de altas produtividades em sistemas agrícolas.** Embrapa Pesca e Aquicultura, (Embrapa Pesca e Aquicultura. Fronteira Agrícola, 12). Palmas: 2 p. 2016.

BURGER, J.A.; KELTING, D.L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **Forest Ecologic and Management**., 122:155-166, 1999.

CARNEIRO, M. A. C., SOUZA, E. D. D., REIS, E. F. D., PEREIRA, H. S., & AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes

sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CHAER, G.M. **Modelo para determinação de índice de qualidade de solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos.** (Dissertação Mestrado) Departamento de microbiologia agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 90 p. 2001.

CRUZ, C.D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. *In*: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p. 1-20. 1994.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária, Embrapa Solos. **Manual de métodos de análise de solo** / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FERNANDES, J.C.; GAMERO, C.A.; RODRIGUES, J.G.L.; MIRÁS-AVALO, J.M. Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems. **Soil and Tillage Research**, v.112, p.167.2011.

FONSECA, G. C., CARNEIRO, M. A. C., COSTA, A. R. D., OLIVEIRA, G. C. D., & BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 37(1): 22-30, 2007.

FONTANA, A. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica em solos do Brasil. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2006.

FREITAS, D. A. F. D., SILVA, M. L. N., CARDOSO, E. L., & CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, 43(3), p. 417-428. 2012.

GONTIJO NETO, M. M.; SILVA, R. V.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V. de; MELO, C. J.: **Alternativas da integração lavoura-pecuária para a produção de forragens e recuperação de pastagens.** Estudo de caso da Fazenda São Pedro, Unaí, MG. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, no prelo). 2018.

GLOVER, J. D. et al. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State**. Agriculture, Ecossystems and Environment**, v. 80, n. 01/02, p. 29-45, 2000.

HUANG, B., SUN, W.X., ZHAO, Y.C., ZHU, J., YANG, R.Q., ZOU, Z., DING, F., SU, J.P. Temporal and spatial of soil organic matter and total nitrogen in an agricultural ecosystem as affected by farming practices. **Geoderma** 139, 336–345. 2007.

HUSSAIN, I.; OLSON, K.R.; WANDER, M.M.; KARLEN, D.L. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. **Soil Tillage Resources.,** Illinois, 50:237-249, 1999.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Sistema de suporte à tomada de decisão na agricultura (SISDAGRO) Balanço Climáticos para o município de Jataí/ GO. Brasília, DF: INMET, 2019. Disponível em: <http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhc> Acesso em: 25 de janeiro 2019.

KAPPES, C.; ZANCANARO, L. Manejo da fertilidade do solo em sistemas de produção no Mato Grosso. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 3., **Anais** Salvador. Sete Lagoas: ABMS, 2014. p. 358-381.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. *In*: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; 52 BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison, Soil Science Society of American, p. 53-72. (Special Publication, 35). 1994.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v. 114, n. 3-4, p. 145-156, 2003.

LEITE CHAVES, H.M., CONCHA LOZADA, C.M, & GASPAR, R.O. Índice de qualidade do solo de um Latossolo sob diferentes usos da terra na savana brasileira. **Geoderma Regional**, 10, 183–190. 2017

LIMA, A.C.R.; BRUSSAARD, L.; TÓTOLA, M.R.; HOOGMOED, W.B.; GOEDE, R.G.M. A functional evaluation of three indicators sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v.64, p.194200, 2013.

LIMA, G.C., SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F., CANDIDO, B.M., CURI, N., OLIVEIRA, M.S.de. Spacialization of soil quality index in the sub-basin of Posses, Extrema, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.20, n.1, p.78- 84, 2016.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: O estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.133-146, 2009.

MACEDO, R. L.G; VALE, A.B.; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais.** Lavras: UFLA, 331 p. 2010.

MELO FILHO, J. F. D., CARVALHO, L. L. D., SILVEIRA, D. D. C., SACRAMENTO, J. A. A. S. D., & SILVEIRA, E. C. P. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, *31*(4), 1168-1177. 2009.

MELLONI, R., MELLONI, E. G. P., ALVARENGA, M. I. N., & VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008.

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 16, n. 5, p. 584–590, 2012.

NAKAJIMA, T.; LAL, R.; JIANG, S. Soil quality index of a crosby silt loam in central Ohio**. Soil and Tillage Research**, v.146, p.323328, 2015.

NIERO, L. A. C., DECHEN, S. C. F., COELHO, R. M., & MARIA, I. C. D. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

QI, Y., DARILEK, J. L., HUANG, B., ZHAO, Y., SUN, W., & GU, Z. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. **Geoderma**, v. 149, n. 3-4, p. 325-334, 2009.

RAIESI, F. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. Agric. **Ecosystem Environment**.112, 13–20. 2006.

RODRIGUES, K. de M.; CORREIA, M. E. F., ALVES, L. B., & DE AQUINO, A. M. Funis de Berlese-Tüllgren modificados utilizados para amostragem de macroartrópodes de solo. **Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2008.

RODRIGUES, P. P.; LIMA, E. de P.; DE ANDRADE, A. G. Avaliação da recuperação de solo degradado com a implantação do sistema agroflorestal com seringueiras. In: **Embrapa Solos-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORKSHOP DE

ENGENHARIA DE BIOSSISTEMAS, 4., 2018, Niterói. Resumos... Niterói: UFF, 2018., 2018.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010.

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C. **Determinação da agregação do solo – metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 8 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 184). 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. E-book: il. color. 5. edição. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOUSA, D. D., NUNES, R. S., REIN, T. A., & SANTOS JUNIOR, J. D. Manejo do fósforo na região do Cerrado. **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**, v. 1, p. 291-358, 2016.

SOUZA, ZM de; 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.

SOUZA, A. L. V. **Avaliação da qualidade de um Latossolo Amarelo Coeso argissólico dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural.**.. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005. p.95 2005.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: Correction of soil and fertilization. **Portuguese.) Embrapa, Planaltina, Brazil**, 2004.

STABEN, M.L.; BEZDICEK, D.F.; SMITH, J.L.; FAUCI, M.F. Assessment of soil quality in conservation reserve program and wheat-fallow soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.1, p.124-130, Jan./Feb. 1997.

STEFANOSKI, D. C., FIGUEIREDO, C. C. D., SANTOS, G. G., & MARCHÃO, R. L. Seleção de indicadores da qualidade do solo para diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1643-1651, 2016.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: ALVAREZ V. et al. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, p. 196-275. 2002.

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

VAN LEEUWEN, J. P., LEHTINEN, T., LAIR, G. J., BLOEM, J., HEMERIK, L., RAGNARSDÓTTIR, K. V., & DE RUITER, P. C. An ecosystem approach to assess soil quality in organically and conventionally managed farms in iceland and austria. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 83, 2015.

WYMORE, A. W. **Model-based systems engineering**. An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. CRC, Boca Raton, Florida, 1993. 710 p.

ZHANG, K.; ZHENG, H.; CHEN, F.L.; OUYANG, Z.Y.; WANG, Y.; WU, Y.F.; LAN, J.; FU, M.; XIANG, X.W. Changes in soil quality after converting Pinus to Eucalyptus plantations in southern China. **Solid Earth**, v.6, p.115-123, 2015.

APÊNDICE(S)

Apêndice A- Exemplo da planilha de cálculo de IQS, para as variáveis do solo em área de Cerrado Nativo (CN)

Função	Peso (Wi)	Escore (Ti)	IQS por função q_K	Indicadores Nv 1	Peso (1)	Score *F(x)*	Produto	Indicadores Nv 2	Peso (2)	Score(2) *F(x)*	Produto
PEA (q_1)	0,25	**0,753***	0,188	DS	0,1	0,439	0,110				
				Matéria Orgânica	0,5	0,811	0,406				
				RP	0,15	0,325	0,000				
				VTP	0,25	0,949	0,237				
						∑ =	**0,753***				
FMDA (q_2)	0,25	**0,830***	0,208	Densidade	0,1	0,439	0,044				
				VTP	0,5	0,949	0,475				
				Fauna edáfica	0,05	0,556	0,028				
				Matéria Orgânica	0,35	0,811	0,284				
						∑ =	**0,830***				

,,,Continuação

				RP	0,1	0,325	0,163					
				VTP	0,1	0,949	0,475					
RDE (q_3)	0,25	**0,528***	0,132	Matéria Orgânica	0,45	0,427	0,192	C-BM	0,5	0,215	0,107	
								COT	0,5	0,640	0,320	
				Fauna edáfica	0,05	0,556	0,028					**0,427**
				Estabilidade de Agregados	0,3	0,600	0,180					
						∑ =	**0,528***					
				Nutrientes Minerais	0,25	0,464	0,116	N -total	0,4	0,769	0,307	
								k	0,2	0,574	0,115	
								P - Lábil	0,4	0,104	0,042	
												0,464
				Saturação de Bases (v%)	0,15	0,288	0,043					
				CTC	0,15	0,864	0,130					
SP (q_4)	0,25	**0,472***	0,112	Acidez/ toxidez	0,2	0,487	0,097	Ph	0,6	0,411	0,247	
								Saturação de Al (m)	0,4	0,600	0,240	
												0,487
				Matéria Orgânica	0,25	0,342	0,086	COT	0,3	0,640	0,192	
								Cbm	0,7	0,215	0,150	
						∑ =	**0,472***					**0,342**
IQS Final =							**0,646**					

IQS – índice de qualidade do solo**; PEA-** Permitir a entrada de água; **FMDA** – Facilitar o movimento e a disponibilidade de água; **RDE**- resistir a degradação estrutural; **SP** – Sustentar a qualidade e a produtividade, **Nv** - Nível dos indicadores; **IQS** – índice de qualidade de solo

Apêndice B - Informações sobre os pontos de amostragem georefenciados

Uso do solo (Tratamentos)	Repetição	Coordenadas	
		Longitude/ Oeste	Latitude/ Sul
Cerrado Nativo	1	51°43'49,165"	17°56'02,134"
Cerrado Nativo	2	51°43'51,094"	17°56'02,116"
Cerrado Nativo	3	51°43'52,078"	17°56'03,136"
Plantio direto	1	51°42’52,31”’	17° 55’54,79’’
Plantio direto	2	51° 42’50,38’'	17° 55’55,57’'
Plantio direto	3	51° 42' 49,69”	17° 55'57.53”
Silvicultura	1	51°43'40,31"	17°56'15,44"
Silvicultura	2	51°43'41,50"	17°56'16,75"
Silvicultura	3	51°43'41,49"	17°56'18,51"
Pastagem	1	51°43'27,92"	17°56'15,22"
Pastagem	2	51°43'26,46"	17°56'14,75"
Pastagem	3	51°43'23,80"	17°56'10,47"
Agrofloresta	1	51°42'47,990"	17°55'47,660"
Agrofloresta	2	51°42'47,510"	17°55'47,730"
Agrofloresta	3	51°42'47,740"	17°55'47,815"

Pontos amostrais coletados com auxilio de gps de navegação (Garmin 62s); Precisão*: 3 metros Sistema de coordenadas geográficas: Graus/ minutos/segundos; Datum: WGS84; Zona: 22S; data (28/03/2019).