

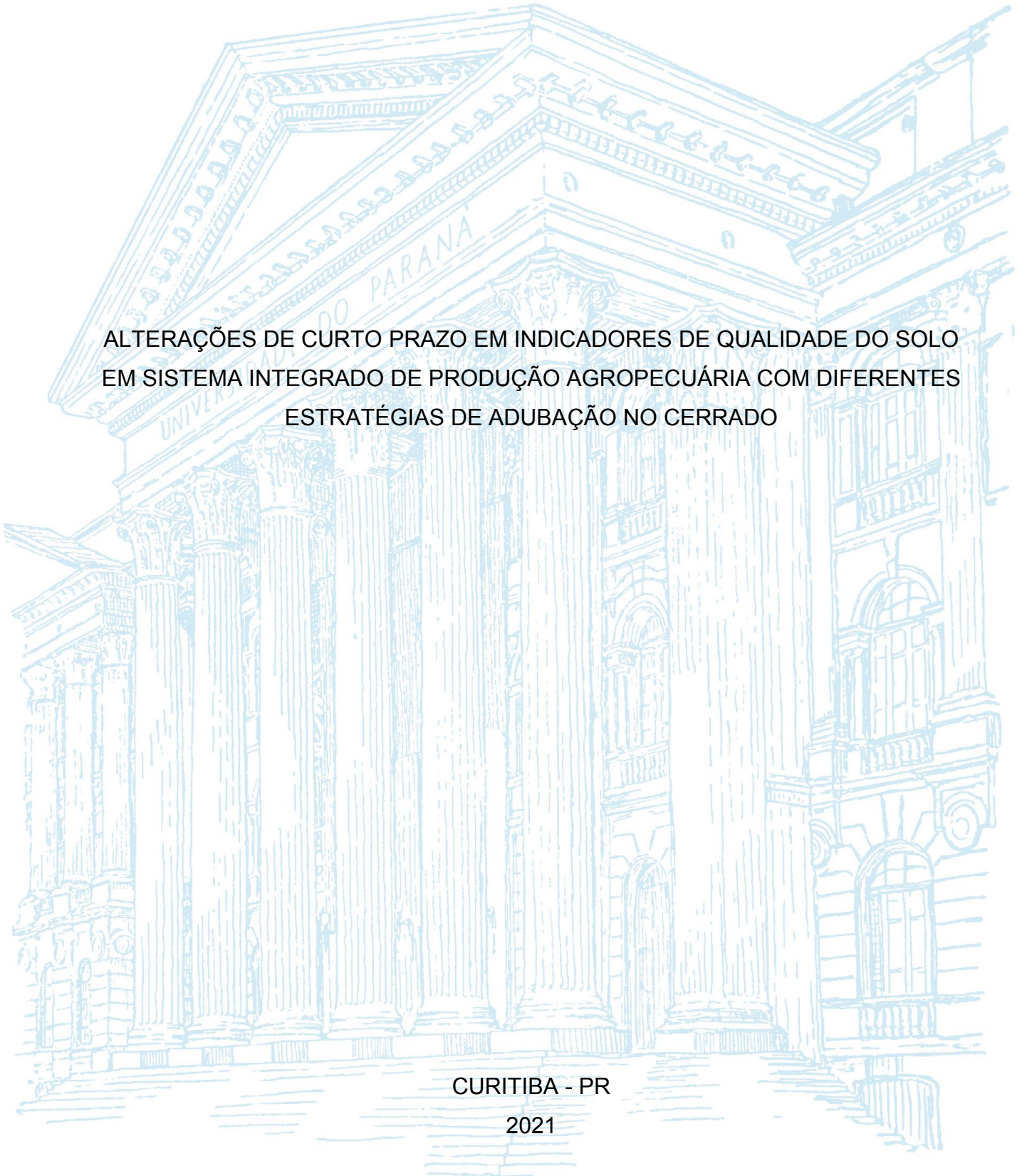
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA CASTRO PIRES

ALTERAÇÕES DE CURTO PRAZO EM INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO
EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM DIFERENTES
ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NO CERRADO

CURITIBA - PR

2021



GABRIELA CASTRO PIRES

ALTERAÇÕES DE CURTO PRAZO EM INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO
EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM DIFERENTES
ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NO CERRADO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, Setor de ciências agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em produção vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César de Faccio Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza

CURITIBA - PR

2021

Pires, Gabriela Castro

Alterações de curto prazo em indicadores de qualidade do solo em sistema integrado de produção agropecuária com diferentes estratégias de adubação no cerrado. / Gabriela Castro Pires. - Curitiba, 2021.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal).

Orientação: Paulo César de Faccio Carvalho.

Coorientação: Edicarlos Damacena de Souza.

1. Sistemas Agrícolas - Solos - Qualidade. 2. Produtividade agrícola. 3. Adubação - Cerrado - Brasil. I. Carvalho, Paulo César de Faccio. II. Souza, Edicarlos Damacena de. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGRONOMIA
(PRODUÇÃO VEGETAL) - 40001016031P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **GABRIELA CASTRO PIRES** intitulada: **ALTERAÇÕES DE CURTO PRAZO EM INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NO CERRADO**, sob orientação do Prof. Dr. PAULO CÉSAR DE FACCIÓ CARVALHO, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 12 de Março de 2021.

Assinatura Eletrônica

14/04/2021 14:51:50.0

PAULO CÉSAR DE FACCIÓ CARVALHO
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

16/03/2021 16:32:44.0

EDICARLOS DAMACENA DE SOUZA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS)

Assinatura Eletrônica

17/03/2021 14:24:07.0

AMANDA POSSELT MARTINS
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL)

Assinatura Eletrônica

01/04/2021 09:46:02.0

MARCO AURELIO CARBONE CARNEIRO
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5601 - E-mail: pgapv@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 83092

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 83092

A minha mãe e meu irmão por todo amor,
Dedico

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata a todas as pessoas que fizeram estes dois anos de muita luta e estudo incríveis! Agradeço a:

Deus, por ter me acolhido nos momentos mais difíceis e que eu achei que não iria conseguir, por todas as bênçãos que colocou no meu caminho nesses últimos anos!!!

Meus orientadores, Paulo César de Faccio Carvalho e Edicarlos Damacena de Souza por serem seres humanos incríveis! Se um dia eu for metade do que vocês são eu já serei muito realizada. Obrigada pelo exemplo, professor Edicarlos. Por todos os puxões de orelha, com certeza eu mereci! Por me exporem a oportunidades em que eu aprendi muito, agradeço pela confiança em mim, mesmo em momentos em que eu não me sentia totalmente preparada. Minha eterna gratidão a vocês!!

Meus pais, por todo o apoio!! Mãe a senhora é a mulher mais forte que já conheci em toda minha vida. Saiba que tudo que eu faço, toda minha luta é por você! Memi, se não fosse por você eu não conseguiria chegar nem na metade do caminho dessa jornada acadêmica. Você é a minha maior inspiração, te acho muito incrível. Obrigada por tudo que faz por mim, um dia irei retribuir!! Obrigada por estarem sempre comigo, amo muito vocês!!!

Caio, agradeço por seu meu fiel companheiro, por toda ajuda, pelo ombro amigo e por ser o namorado mais paciente do mundo durante os piores momentos. Quero que saiba que te amo muito e esses resultados são seus também, gratidão por tudo!!

Nahyara, Rackel, Kairo, Luis, Jamilly, Rafael, Lais, Evelyn, Maria Eloá, Andressa e a todos os integrantes do GPI SI pela convivência e dias no laboratório até tarde. Vocês são diferenciados mesmo!! Cada dia, cada coleta, cada aula, cada reunião, cada festa foi incrível!! Meu carinho aos colegas do NITA e do programa de Pós-graduação em Produção Vegetal por me receberem muito bem em Curitiba. Rúbia você é incrível, obrigada por ser sempre tão gentil. Professores, por todo o conhecimento compartilhado, Rodrigo, Edicarlos, Anibal, Paulo, Átila, Katia e Jonathan. Vocês ampliaram a minha visão e me abriram um leque de possibilidades dentro da área de pesquisa!

A UFPR, a UFR, a Yara Fertilizantes, a Agrisus e a Aliança SIPA pelo suporte de laboratório, financeiro e pela bolsa concedida. A todo pessoal da Fazenda Guarita, sr. Joel Strobel por ceder a área e nos dar todo o suporte no protocolo, ao sr. Toninho e ao Everthon que contribuíram com todo o trabalho!! E, a todos que contribuíram nas engrenagens da pós-graduação!

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade. ” (Nikola Tesla)

RESUMO

Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) beneficiam a saúde do solo, que pode ser avaliada por meio dos indicadores de qualidade do solo. Como forma de intensificar a produção em SIPA tem-se adotado a prática de adubação de sistemas, baseada em realizar a prática da adubação abordando a ciclagem de nutrientes em todo o sistema. Entretanto, não há estudos precedentes sobre o tema na região do Cerrado. Nesse sentido, o presente estudo avaliou o efeito e interação de diferentes estratégias de adubação (Adubação de sistemas e convencional e nitrogenada no pasto) nos indicadores de qualidade de solo em SIPA no Cerrado. O experimento foi realizado na Fazenda Guarita em um Latossolo Vermelho distrófico, no município de Rondonópolis/MT e implantado no ano de 2019. O sistema é caracterizado pela integração entre a fase lavoura, onde é cultivado soja (*Glycine max.* (L.) Merr.), com a fase pastagem, em que são manejados bovinos de corte em gramínea (*Urochloa brizantha* cv. Piatã). Testou-se duas estratégias de adubação: a) a época de adubação com fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O), na safra de soja – adubação convencional, ou na fase pastagem – adubação de sistemas; b) a adubação nitrogenada no pasto (presença ou ausência). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições e esquema fatorial. As fontes de variação foram compostas pela estratégia de adubação (Adubação de sistemas ou convencional) e pela adubação nitrogenada no pasto (presença ou ausência). A amostragem de solo foi realizada em dois períodos diferentes, sendo a primeira no ano de 2019 e a segunda em 2020, ambas na época de pleno florescimento da cultura da soja, em dezembro, na profundidade de 0-10 cm. Houve maior imobilização de carbono pela biomassa microbiana do solo nas áreas com adubação de sistemas e nitrogenada no pasto, com incremento de 21%. Já o nitrogênio da biomassa microbiana do solo foi maior nos tratamentos com adubação nitrogenada no pasto, com 18% de aumento em relação às áreas sem nitrogênio. A atividade das enzimas β -glicosidase e fosfatase ácida foram afetadas pela adubação de sistemas, com incremento de 25 e 21%, respectivamente, quando comparadas à adubação convencional. A arilsulfatase aumentou 46% nas áreas com adubação nitrogenada no pasto e a hidrólise do diacetato de fluoresceína foi alterada pela adubação de sistemas com 21% de aumento. O carbono orgânico total do solo da camada de 0-10 cm do solo se elevou cerca de 12% nos tratamentos com adubação

de sistemas. A adubação de sistemas e a adubação nitrogenada no pasto trazem benefícios ao solo de acordo com os indicadores avaliados em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado.

Palavras-chave: Carbono. Biomassa microbiana. Nitrogênio. SIPA. Pastagem.

ABSTRACT

Integrated Crop-Livestock Systems (ICLS) benefit soil health, which can be assessed using soil quality indicators. As a way of intensifying production in ICLS, the practice of system fertilization has been adopted, in which all components of the system are benefited by fertilization. However, there are no previous studies on the subject in the Cerrado region. In this sense, the present study evaluated the effect and interaction of different fertilization strategies (fertilization of systems and conventional and nitrogen in the pasture) on soil quality indicators in ICLS in the Cerrado region. The experiment was carried out at Guarita farm in an Oxisol, in the municipality of Rondonópolis / MT and implemented in 2019. The system is characterized by the integration between the crop phase, where soybeans (*Glycine max.* (L.) Merr.), with the pasture phase, in which grass that cattle are utilized (*Urochloa brizantha* cv. Piatã). Two fertilization strategies were tested: a) the time of fertilization with phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O), in the soybean harvest - conventional fertilization, or in the pasture phase - fertilization of systems; b) nitrogen fertilization in the pasture (presence or absence). The experimental design was in randomized blocks with three replications and a factorial scheme. The sources of variation were composed by the fertilization strategy (Systems or conventional fertilization) and nitrogen fertilization in the pasture (presence or absence). There was a greater immobilization of carbon by microbial biomass in the areas with fertilization of systems and nitrogen in the pasture, with an increase of 21%. The nitrogen of the microbial biomass was higher in the treatments with nitrogen fertilization in the pasture, with 18% increase in relation to the areas without nitrogen. The activity of β -glycosidase and acid phosphatase enzymes were affected by the fertilization of systems, with an increase of 25 and 21%, respectively, when compared to conventional fertilization. Arylsulfatase increased 46% in the areas with nitrogen fertilization in the pasture and the hydrolysis of fluorescein diacetate was altered by the fertilization of systems with a 21% increase. The total organic carbon increased by about 12% in the treatments with fertilization of systems. The fertilization of systems and nitrogen fertilization in the pasture influence the soil quality indicators in an integrated crop livestock system in the Cerrado.

Keywords: Carbon. Microbial Biomass. Nitrogen. ICLS. Pasture.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Localização da área experimental na Fazenda Guarita em Rondonópolis/MT.....	25
FIGURA 2 – Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (T) (°C) durante a condução do estudo na área experimental..	26
FIGURA 3 – Croqui da área experimental em sistema integrado de produção agropecuária com adubação de sistemas, convencional e N na fase pastagem..	28
FIGURA 4 – Estratégias de adubação (Adubação convencional, de sistemas e nitrogenada) em sistema integrado de produção agropecuária.....	28
FIGURA 5 – Teor de carbono orgânico total (COT) em sistema integrado de produção agropecuária com adubação de sistemas, convencional e N na fase pastagem.....	31
FIGURA 6 – Carbono da biomassa microbiana (C-BM) em sistema integrado de produção agropecuária com adubação de sistemas, convencional e N na fase pastagem.....	32
FIGURA 7 – Atividade enzimática da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) em sistema integrado de produção agropecuária com adubação de sistemas, convencional e N na fase pastagem... ..	34
FIGURA 8 – Atividade enzimática da β -glicosidase (A), fosfatase ácida (B) e arilsulfatase (C) em sistema integrado de produção agropecuária com adubação de sistemas, convencional e N na fase pastagem.....	34
FIGURA 9 – Bibplot dos componentes principais dos indicadores de qualidade do solo em sistema integrado de produção agropecuária com adubação de sistemas, convencional e N na fase pastagem... ..	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Histórico de plantio da área experimental de 2010 a 2020 na Fazenda Guarita.....	26
TABELA 2 – Caracterização química e física da área experimental antes da implantação do experimento na camada 0 – 20 cm.....	27
TABELA 3 – Nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM), quociente microbiano (qMIC), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO ₂) e urease em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas e nitrogênio na fase pastagem.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ACP - Análise de componentes principais
ANOVA - Análise de variância
ARIL - Arilsulfatase
AS_CN - Adubação convencional e nitrogenada no pasto
AS_CN - Adubação de sistemas e nitrogenada no pasto
AS_SN - Adubação convencional
AS_SN – Adubação de sistemas
BETA - β -glicosidase
C - Carbono
C-BM - Carbono da biomassa microbiana
COT - Carbono orgânico total
FDA - Hidrólise do diacetato de fluoresceína
ICLS - Integrated crop livestock systems
K - Potássio
K₂O - Óxido de potássio
M.O - Matéria orgânica
N - Nitrogênio
N-BM - Nitrogênio da biomassa microbiana
NT - Nitrogênio total
P - Fósforo
P₂O₅ - Pentóxido de fósforo (Adubo superfosfato simples)
PD - Plantio direto
qCO₂ - Quociente metabólico
qMIC - Quociente microbiano
RB - Respiração basal
S - Enxofre
SIPA - Sistema integrado de produção agropecuária

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	16
	REFERÊNCIAS.....	18
2	CAPÍTULO I ALTERAÇÕES DE CURTO PRAZO EM INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NO CERRADO.....	21
2.1	INTRODUÇÃO.....	23
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	25
2.3	RESULTADOS	31
2.4	DISCUSSÃO	37
2.5	CONCLUSÕES.....	41
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICES	50

1 INTRODUÇÃO GERAL

A elevada demanda pela produção de alimentos intensificou a busca por opções sustentáveis de produção. Nesse sentido, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) combinados com práticas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto (PD), surgem como alternativa para maior produção de alimentos de forma sustentável. Os SIPA-PD possibilitam uma interação sinérgica entre os componentes animal, florestal e de culturas agrícolas (ANGHINONI et al., 2013).

No entanto, o uso adequado de estratégias de adubação em SIPA é um dos principais fatores para intensificar esse sistema de produção. Solos com determinado histórico de correções e adubações (fertilidade química construída) são propícios para a implantação do modelo de adubação de sistemas em SIPA, que é baseado na ciclagem biológica de nutrientes entre todas as fases do sistema, maximizando a eficiência do uso dos insumos (FARIAS et al., 2020).

Essa modalidade possibilita que todas as culturas presentes na rotação (no caso dos SIPA, a pastagem e as culturas agrícolas) sejam beneficiadas pela adubação. A presença do animal é uma eficiente ferramenta para catalisar as reações no sistema, que modifica e acelera o fluxo de nutrientes (ASSMANN et al., 2018), além da baixa exportação de nutrientes pelo animal (HAYNES; WILLIAMS, 1993). O ato do pastejo também intensifica a disponibilidade dos nutrientes no solo e traz resultados positivos para a qualidade do solo (DAVINIC et al., 2013).

A qualidade do solo é definida “a capacidade do solo de funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais” (DORAN; PARKIN, 1996). Existem vários indicadores para avaliações da qualidade do solo. Dentre eles, os indicadores microbiológicos são muito utilizados por sua alta sensibilidade ao manejo adotado (LIU et al., 2017).

Diversos estudos têm demonstrado efeito positivo da adubação no pasto. Coonan et al. (2019), avaliando a adubação fosfatada no pasto, concluiu que o aumento na produção de forragem proporcionado pela adubação contribuiu para maiores sequestros de carbono. Além disso, a adubação nitrogenada no pasto contribui para aumento do aporte de resíduos no solo e N, P e K na palhada (PARIZ et al., 2011). Esses estudos demonstram a eficiência da adubação no pasto,

pensando na técnica de adubação de sistemas em aumentar o aporte de nutrientes no solo para as culturas sucessoras em SIPA. O desafio consiste na obtenção de um modelo de manejo baseado nesses princípios, sendo que na literatura não há estudos que relatam essa prática de adubação na região do Cerrado.

Avaliar as alterações nos indicadores de qualidade do solo sob a filosofia desse tipo de adubação é útil para determinar o *status* de qualidade de um solo. Sendo assim, a hipótese do presente estudo partiu do pressuposto de que diferentes estratégias de adubação em SIPA (Adubação de sistema, convencional e nitrogenada no pasto) alteram, mesmo que em curto prazo, as propriedades químicas e bioquímicas do solo em SIPA.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito e a interação de diferentes estratégias de adubação (Adubação de sistema, convencional e nitrogenada no pasto), nos indicadores de qualidade de solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado.

REFERÊNCIAS

ASSMANN, T. S.; MARTINICHEN, D.; LIMA, R. C.; HUF, F. L.; ZORTÁ, T.; ASSMANN, A. L.; MORAES, A.; ALVES, S. J. Adubação de sistemas e ciclagem de nutrientes em sistemas integrados de produção agropecuária. In: SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; ASSMANN, T. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. B. **Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil**. Tubarão: Copiart, 2018, p. 123-145.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, v.8, p.325-380, 2013.

COONAN, E. C.; RICHARDSON, A. E.; KIRKBY, C. A.; KIRKEGAARD, J. A.; AMIDY, M. R.; SIMPSON, R. J.; STRONG, C. L. Soil carbon sequestration to depth in response to long-term phosphorus fertilization of grazed pasture. **Geoderma**, v. 338, p. 226-235, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.052>.

DAVINIC, M.; MOORE-KUCERA, J.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; ZAK, J.; ALLEN, V. Soil fungal distribution and functionality as affected by grazing and vegetation components of integrated crop–livestock agroecosystems. **Appl Soil Ecol**, v. 66, p. 61–70, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.013>.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.), **Methods for Assessing Soil Quality**. Soil Science Society of America, p. 25-37, 1996.

FARIAS, G. D.; DUBEUX, J. C. B.; SAVIAN, J. V.; DUARTE, L. P.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; ALVES, L. A.; CARVALHO, P. C. F.; BREMM, C. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40:39 p. 2-9, 2020.

HAYNES, R.; WILLIAMS, P. Nutrient Cycling and Soil Fertility in the Grazed Pasture Ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119–199,1993.

LIU, Z.; RONG, Q.; ZHOU, W.; LIANG, G. Effects of inorganic and organic amendment on soil chemical properties, enzyme activities, microbial community and soil quality in yellow clayey soil. **PLOS ONE**, v. 12, e0172767, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172767>.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A.F.; ULIAN, N.A.; FURLAN, L.C.; MEIRELLES, P.R. de L.; CAVASANO, F.A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2029-2037, 2011.

2 CAPÍTULO I: ALTERAÇÕES DE CURTO PRAZO EM INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NO CERRADO

RESUMO

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) podem modificar os indicadores de qualidade do solo. Tradicionalmente em SIPA, a adubação é feita para a cultura produtora de grãos e normalmente não é realizada no pasto, a fertilização do pasto pode alterar atributos do solo e modificar a ciclagem de nutrientes do sistema, sendo uma importante ferramenta de suprimento de nutrientes para as culturas em SIPA. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes estratégias de adubação (Adubação de sistemas e convencional) e da adubação nitrogenada no pasto nos indicadores de qualidade de solo em SIPA no Cerrado. O experimento teve início em 2019 em uma área de 22,8 hectares na Fazenda Guarita localizada no município de Rondonópolis/MT em um Latossolo Vermelho distrófico. Foram testadas duas estratégias de adubação com fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) (na safra – adubação convencional e na pastagem – adubação de sistemas), além da presença ou ausência de nitrogênio no pasto. A amostragem de solo foi realizada em dois períodos diferentes, sendo a primeira no ano de 2019 e a segunda em 2020, ambas na época de pleno florescimento da cultura da soja, em dezembro, na profundidade de 0-10 cm. Houve maior imobilização de carbono pela biomassa microbiana nas áreas com adubação de sistemas, com incremento de 21%. Já o nitrogênio da biomassa microbiana foi maior (18%) nos tratamentos com adubação nitrogenada no pasto, em relação às áreas ausentes de adubação nitrogenada. A atividade das enzimas β -glicosidase e fosfatase ácida foram afetadas pela estratégia de adubação, com incremento de 25 e 21%, respectivamente, nas áreas com adubação de sistemas quando comparados à adubação convencional. A arilsulfatase aumentou 46% nas áreas com presença de adubação nitrogenada no pasto e a hidrólise do diacetato de fluorosceína (21%) pela adubação de sistemas. O carbono orgânico total se elevou em 12% com a adubação de sistemas. Em conclusão, a adoção da técnica de adubação de sistemas e nitrogenada na fase pastagem promove alterações nos indicadores de

qualidade do solo, trazendo benefícios ao teor de carbono e atividade microbiana do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado.

Palavras-chave: Carbono. Atividade enzimática. ILP. Pastagem. Biomassa microbiana.

ABSTRACT

Integrated crop-livestock systems (ICLS) can modify soil quality indicators, in addition to the productive potential of the system. However, the fertilization recommendations in these systems are based on conventional cultivation without taking into account the flow of nutrients between all components of the system. Thus, the objective of the work was to evaluate the effect and interaction of different fertilization strategies (fertilization of systems, conventional and nitrogen in the pasture) in the soil quality indicators in ICLS in the Cerrado. The experiment started in 2019 in an area of 22.8 hectares at Guarita farm located in the municipality of Rondonópolis / MT in a dystrophic Red Latosol. Two fertilization strategies were tested with phosphorus (P_2O_5) and potassium (K_2O) (in the harvest - conventional fertilization and in the pasture - fertilization of systems), in addition to the presence or absence of nitrogen in the pasture. There was a greater immobilization of carbon by microbial biomass in areas with fertilization of systems, with an increase of 21%. The nitrogen of the microbial biomass was higher (18%) in the treatments with nitrogen fertilization in the pasture, in relation to the areas lacking nitrogen fertilization. The activity of β -glycosidase and acid phosphatase enzymes were affected by the fertilization strategy, with an increase of 25 and 21%, respectively, in areas with system fertilization when compared to conventional fertilization. Arylsulfatase increased 46% in the areas with nitrogen fertilization in the pasture and the hydrolysis of fluorescein diacetate (21%) by the fertilization of systems. Total organic carbon increased by 12% with the fertilization of systems. The fertilization of systems and nitrogen in the pasture phase promotes changes in soil quality indicators in an integrated crop livestock system in the Cerrado.

Keywords: Carbon. Enzymatic Activity. ICL. Pasture. Microbial Biomass.

2.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) se caracterizam por contemplar a exploração de culturas agrícolas e pecuária em diferentes escalas espaço-temporais, ao adotar SIPA é necessário saber que quando o sistema é bem conduzido, ele é uma estratégia capaz de explorar sinergismos entre os compartimentos solo – planta – animal – atmosfera (MORAES et al., 2014).

No entanto, para intensificar a produção de forma sustentável, é necessário que se adote medidas para conservação da qualidade do solo e como consequência ocorra a melhoria de sua fertilidade. Diante disso, analisar diferentes estratégias de adubação e o efeito dessa prática no solo pode ser um caminho promissor para a sustentabilidade do sistema. Nesse sentido, surge uma nova abordagem de fertilização, a adubação de sistemas, essa prática se baseia no conceito de que a adubação deve ser realizada na fase do sistema em que ocorre menor extração de nutrientes e maior capacidade de ciclar esses nutrientes no solo com o objetivo de maximizar a produção do sistema (ASSMAN et al., 2017).

A adubação de sistemas em SIPA possibilita maior disponibilidade de nutrientes devido maior eficiência em sua ciclagem que é possível devido a presença do componente animal que além de servir como um catalisador também apresenta baixa exportação de nutrientes via animal (HAYNES e WILLIAMS, 1993; DAVINIC et al., 2013). Dessa forma, o manejo da fase pastagem em SIPA vem recebendo atenção, trazendo possibilidades de intensificação da produção e eficiência do uso de fertilizantes.

A adubação pode alterar direta ou indiretamente os atributos químicos, físicos e biológicos do solo (GE et al., 2018). Nesse sentido, a avaliação da qualidade do solo oferece ferramentas científicas para a análise do manejo do solo, por isso, tem sido enfatizada a importância do estabelecimento de indicadores confiáveis para avaliar a qualidade do solo (MELO et al., 2020; SEKARAN et al., 2019), destacando-se a importância em se utilizar indicadores microbiológicos, que apresentam sensibilidade com relação ao manejo (HEIDARI et al., 2016).

As variáveis microbiológicas mais utilizadas como método para avaliação da qualidade do solo são: Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e microbiano e atividade enzimática (BÜNEMANN et al., 2018). Além das variáveis microbiológicas é importante avaliar as propriedades

químicas do solo, como os teores de carbono orgânico total (COT), pois estabelece relações estreitas com a biomassa microbiana do solo e em comparação com a atmosfera, o solo tem o dobro da capacidade de armazenar carbono, podendo afetar as mudanças climáticas a nível global e produtividade da cultura (GHOSH et al., 2019).

Alguns estudos avaliando a aplicação de fertilizantes nitrogenados em pastagens demonstraram que a atividade de enzimas como a beta glicosidase são alteradas (YUAN et al., 2020). Além disso outros estudos mostraram aumento significativo no carbono orgânico do solo em resposta a adubação de pastagens (ORGILL et al., 2014; HAYNES; WILLIAMS, 1992). Resultados na região sul do Brasil com adubação de sistemas em SIPA apontam aumento de produção de forragem e animal sem prejudicar a produtividade da cultura de grãos em sucessão (FARIAS et al., 2020).

Não existem estudos relatando o impacto da adubação de sistemas sobre os indicadores de qualidade do solo, principalmente na região do Cerrado, assim, a hipótese do presente estudo partiu do pressuposto de que diferentes estratégias de adubação em SIPA (Adubação de sistema, convencional e nitrogenada no pasto) alteram, mesmo que em curto prazo, as propriedades químicas e bioquímicas do solo em SIPA.

A presente dissertação é composta por um capítulo, na forma de artigo científico, em que foi estudado os indicadores de qualidade do solo de um SIPA sob adubação de sistemas. Posteriormente, foram inseridas as considerações finais, em que são apresentados os principais resultados observados e sugestões para trabalhos futuros.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em área experimental pertencente à Fazenda Guarita (16°33'54"S 54°41'08" W), localizada no município de Rondonópolis – MT, Brasil (Figura 1). Se iniciou com a semeadura do pasto (*Urochloa brizantha*, cv. BRS Piatã) em março de 2019 em um Latossolo Vermelho distrófico, de textura argilosa. O clima da região é caracterizado como Aw segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013), com um período seco (maio a setembro) e um chuvoso (outubro a abril), assim como descrito na Figura 2.

Figura 1 - Localização da área experimental na Fazenda Guarita em Rondonópolis – MT.

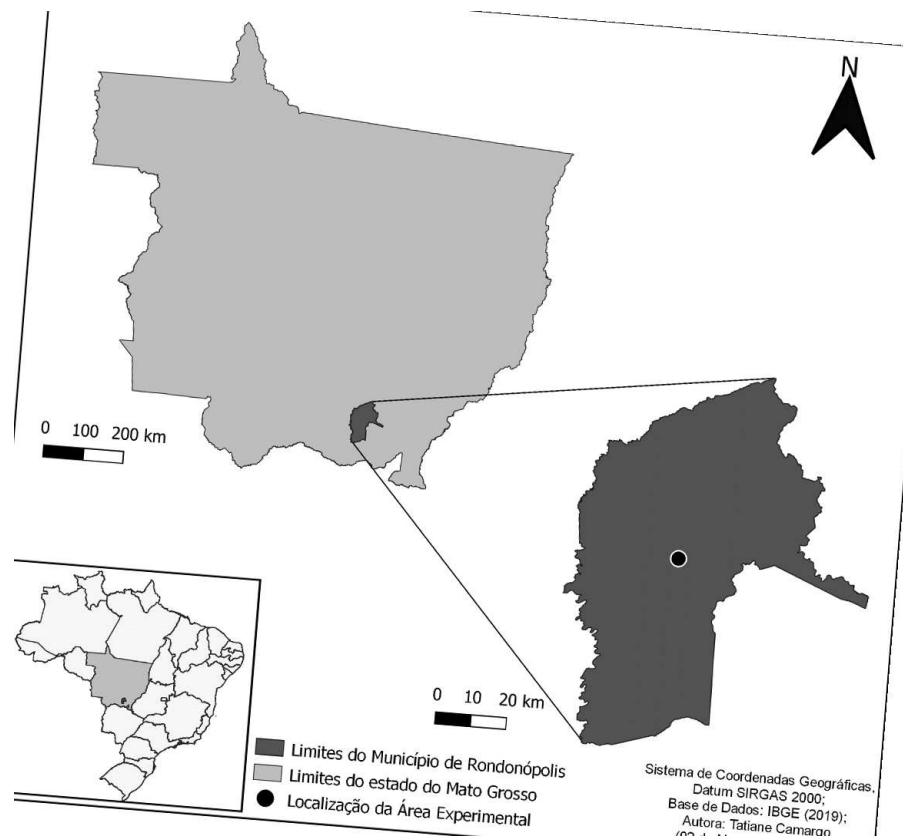
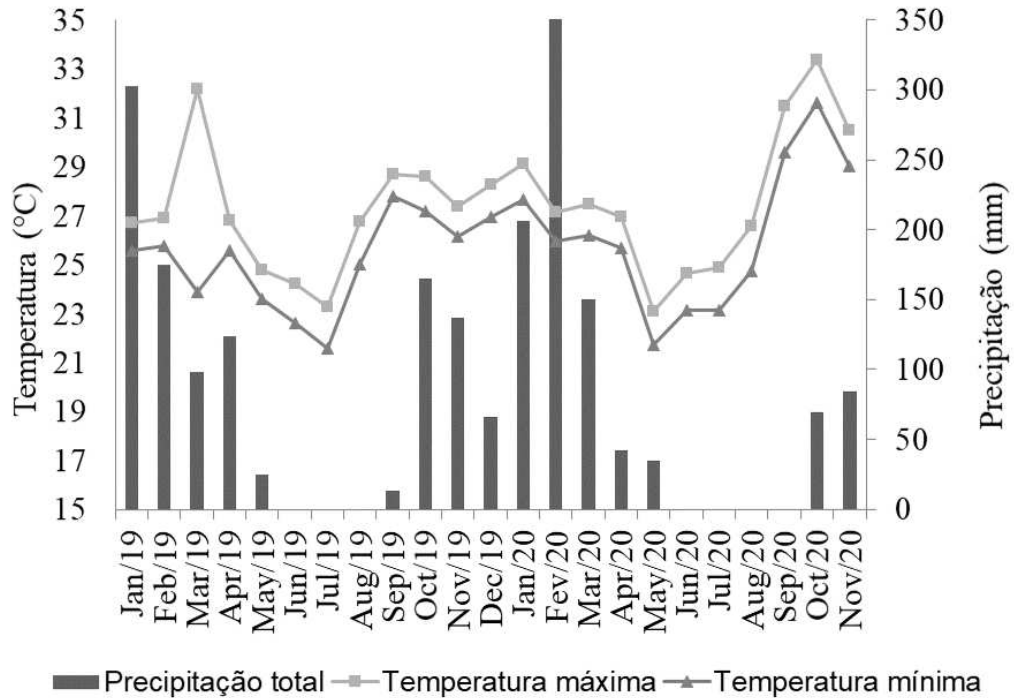


Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (T) (°C) durante a condução do estudo na área experimental.



A área de 22,8 hectares destinada ao experimento estava sendo cultivada com soja e milho há mais de 15 anos (Tabela 1). Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm, de forma aleatória com o auxílio de trado holandês, e levadas ao laboratório para análise química do solo de acordo com Tedesco et al. (1995) (Tabela 2).

Tabela 1 – Histórico de plantio da área experimental de 2010 a 2020 na Fazenda Guarita.

Período	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Safra	Soja										
Entressafra	Milho			Pecuária			Milho		Pecuária		

Tabela 2 – Caracterização química e física da área experimental antes da implantação do experimento na camada 0 – 20 cm.

pH	Ca	Mg	Al	CTC	K	P	V	DS	Areia	Silte	Argila
CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----				-- mg dm ⁻³ --		%	kg dm ⁻³	----- g kg ⁻¹ -----		
5,5	2,5	1,3	0,0	6,8	69,2	30,8	59,9	1,4	505	75	420

V: Saturação por bases; CTC: Capacidade de troca de cátions; DS: Densidade do solo. Interpretação com base em culturas anuais (Sousa; Lobato, 2004): pH: Adequado (4,9 a 5,5); Ca (Cálcio): Adequado (1,5 a 7,0 cmol_c dm⁻³); Mg (Magnésio): Adequado (0,5 a 2,0 cmol_c dm⁻³); Al (Alumínio): Baixo; CTC: Baixa (< 7,0 cmol_c dm⁻³); K: Adequado (51 a 80 mg dm⁻³); P: Alto (>12 mg dm⁻³); V %: Adequado (36 à 70 %) e DS: Moderada.

O experimento avalia duas estratégias de adubação e a presença do N no pasto. Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados em esquema de fatorial 2 x 2 com três repetições, totalizando 12 unidades experimentais (Figura 3). As fontes de variação são:

- 1) Adubação fosfatada e potássica – tradicionalmente utilizado na soja - (adubação tradicional na safra, na cultura da soja, e adubação de sistema na segunda safra, no pasto);
- 2) Adubação nitrogenada no pasto (presença da adubação com N e ausência da adubação com N).

A combinação entre os fatores se encontra na Figura 4. A semeadura da gramínea foi realizada no mês de março, após a colheita da soja, utilizando semeadora de grãos miúdos com taxa de semeadura de 8,8 kg ha⁻¹ de sementes com valor cultural de 68% para atingir 600 pontos de valor cultural por hectare.

Figura 3 – Croqui da área experimental em sistema integrado de produção agropecuária com adubação de sistemas, convencional e N na fase pastagem.

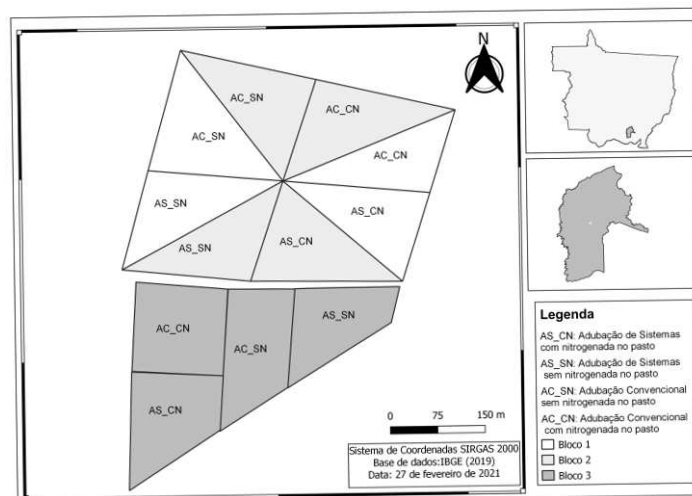
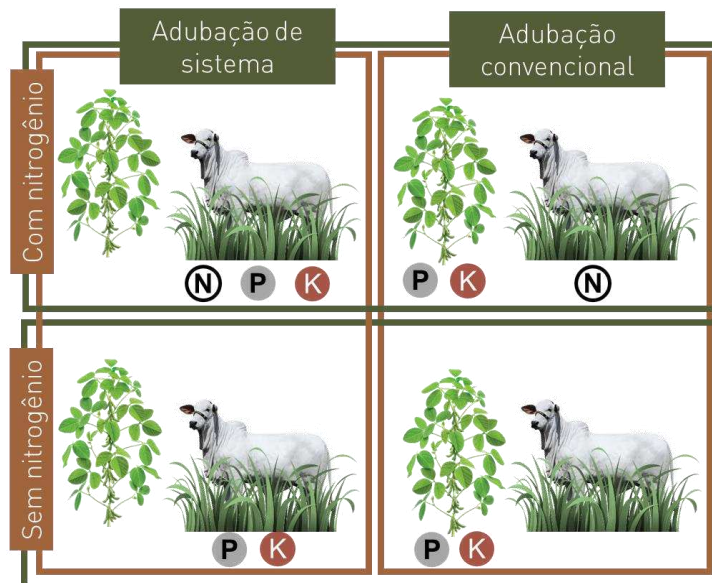


Figura 4 – Estratégias de adubação (Adubação convencional, de sistemas e nitrogenada) em sistema integrado de produção agropecuária.



O pastejo na área foi conduzido de acordo com a metodologia do pastoreio Rotatínuo em sistema contínuo, com bovinos machos da raça nelore com peso médio de 246,0 kg (2019) e 259,7 kg (2020). Os animais entraram na área quando o pasto atingiu a altura média de 33 cm e eram regulados para que o pasto mantivesse a altura entre 24 e 40 cm. Em 2019, os animais permaneceram na área entre os meses de abril e agosto, totalizando em média 132 dias de pastejo. Em

2020 os animais permaneceram em pastejo entre março e julho, totalizando 118 dias.

A cultivar de soja utilizada foi a Brasmax Ultra IPRO, semeada com espaçamento de 45 cm. A adubação fosfatada e potássica foi calculada a partir de uma estimativa de produtividade de 3,9 Mg ha⁻¹ de soja, esse valor foi utilizado de acordo com a média da propriedade. Para isso foram aplicados 72 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 90 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação com P e K foi realizada em duas épocas, de acordo com os tratamentos. Já a adubação nitrogenada (subparcela) foi aplicada na dose de 100 kg ha⁻¹ de N, no momento em que a gramínea estava em fase vegetativa com quatro folhas totalmente expandidas.

As amostras de solo foram coletadas no pleno florescimento da cultura da soja, a escolha da época de amostragem foi feita de acordo com Mendes et al., (2015), onde afirma que a coleta para análise microbiológica deve ser realizada preferencialmente nessa época, que ocorreu em dezembro de 2019 e 2020, com o auxílio de espátulas na camada de 0-10 cm em 10 pontos por parcela. Posteriormente as amostras foram armazenadas em geladeira a 4°C e analisadas no laboratório de Solos da Universidade Federal de Rondonópolis.

As variáveis analisadas foram os teores de carbono (COT) e nitrogênio (NT) total (TEDESCO et al., 1995), o carbono (C-BM) e nitrogênio (N-BM) da biomassa microbiana (BROOKES et al., 1985; VANCE et al., 1987), com a relação solo extrator 1:2,5 (TATE et al., 1988) e fator de correção de 0,33 e 0,54 para o C e N, respectivamente (SPARLING; WEST, 1988; BROOKES et al., 1985). A respiração basal foi determinada segundo metodologia proposta por Jenkinson e Powlson (1976). Foram determinados o quociente metabólico (qCO_2) pela razão entre a respiração basal e o C da biomassa microbiana (ANDERSON; DOMCSH, 1993) e o quociente microbiano ($qMIC$) pela razão entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico total do solo (SPARLING, 1992).

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foi determinada pelo método proposto por Dick et al. (1996). A atividade da urease foi determinada pela a metodologia descrita por Tabatabai e Bremner (1972) e da arilsulfatase por Tabatabai e Bremner (1970). A quantificação da atividade da enzima β -glucosidase foi realizada pelo método proposto por Eivazi e Tabatabai (1988). A atividade da fosfatase ácida foi quantificada seguindo o método de Dick et al. (1996).

Os dados foram coletados em dois anos de condução do experimento (2019 e 2020) e foram submetidos à análise de variância (ANOVA) que foi executada usando um modelo misto pela função LMER do pacote *lme4* no software R Studio (v. 3.6.0), podendo ser representado em sua forma matricial por:

$$Y = X\beta + Zg + \varepsilon$$

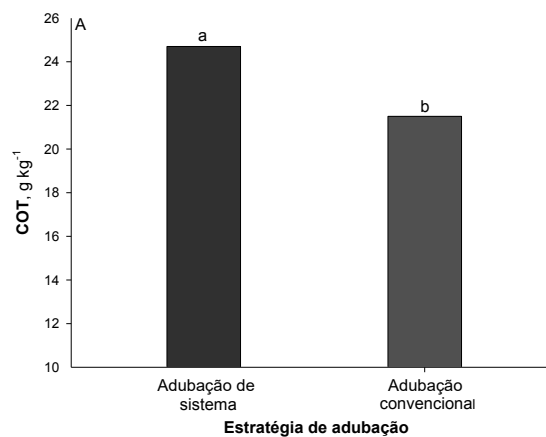
Em que a estimativa da variável resposta (Y) é a soma da média da população ($X\beta$), obtida considerando os efeitos fixos, mais o valor predito da variável (Zg), considerando os efeitos aleatórios. A estratégia de adubação (adubação de sistemas ou convencional), adubação nitrogenada no pasto (presença ou ausência) e sua interação foram considerados efeitos fixos. Os efeitos aleatórios incluíram bloco e ano.

A técnica estatística multivariada, sendo ela a análise de componentes principais (ACP), foi usada para estabelecer atributos com poder discriminatório e potenciais indicadores do efeito dos indicadores de qualidade de solo em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas. As relações das variáveis a serem explicadas por um número limitado de novas variáveis foram calculadas a partir da matriz de correlação entre variáveis (JEFFERS, 1978). Os valores originais foram normalizados para média igual 0 e variância igual a 1. O critério adotado para a escolha do número de componentes foi selecionar aquelas que apresentaram autovalores acima de 1,00 e conseguiram sintetizar uma variância acumulada acima de 70% (HAIR et al., 2005).

2.3 RESULTADOS

O teor de carbono orgânico total (COT) do solo não apresentou interação entre os fatores avaliados (Figura 5). O COT foi afetado apenas pelas estratégias de adubação adotadas, independentemente dos demais fatores, sendo 12% superior nas áreas com adubação de sistema. Isso significa que em dois anos de implantação do sistema há 0.2 kg de COT nas áreas onde houve adubação de sistemas.

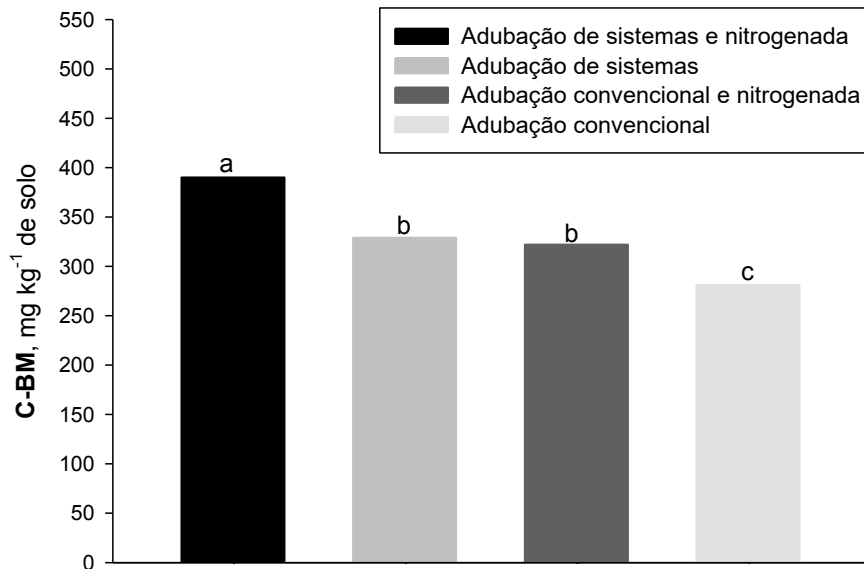
Figura 5 - Teor de carbono orgânico total (COT) em sistema integrado de produção agropecuária com diferentes estratégias de adubação (convencional na soja e de sistemas no pasto) e presença ou ausência de adubação nitrogenada no pasto.



ns: não significativo. Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Por outro lado, o carbono da biomassa microbiana (C-BM) foi afetado pelos fatores analisados (Figura 6). A adubação de sistemas e nitrogenada no pasto possibilitou incremento no C-BM (18,6%), em comparação com as áreas sem N no pasto. Por outro lado, o C-BM foi 38,8% superior com adubação de sistemas e nitrogenada no pasto, quando comparado às áreas com adubação convencional sem nitrogênio no pasto.

Figura 6 - Carbono da biomassa microbiana (C-BM) em sistema integrado de produção agropecuária com diferentes estratégias de adubação (convencional na soja e de sistemas no pasto) e presença ou ausência de adubação nitrogenada no pasto.



Médias seguidas da mesma letra, minúscula entre linhas e maiúscula entre colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM) não foi afetado pelas estratégias de adubação utilizadas (Tabela 3). Porém, a adubação nitrogenada na fase pastagem garantiu que o N imobilizado pela biomassa fosse 18% superior às áreas onde não houve aplicação de N no pasto. A respiração basal (RB), o quociente metabólico (qCO₂) e o quociente microbiano (qMIC) não foram afetados pelas estratégias de adubação adotada ou adubação nitrogenada no pasto.

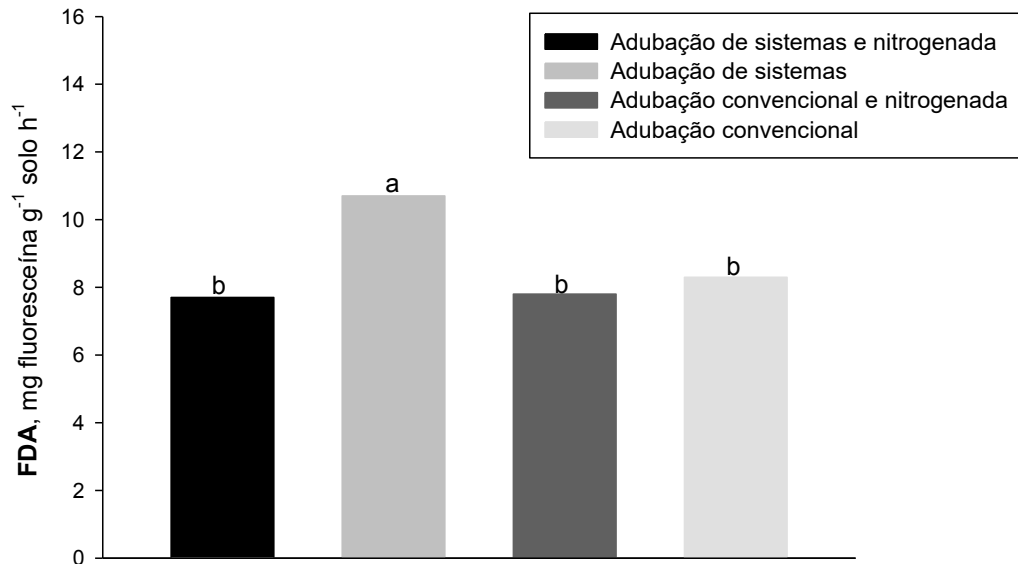
Tabela 3 – Nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM), Quociente microbiano (qMIC), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO₂) e urease em sistema integrado de produção agropecuária com diferentes estratégias de adubação (convencional na soja e de sistemas no pasto) e presença ou ausência de adubação nitrogenada no pasto.

Estratégia de adubação	N-BM mg kg ⁻¹ solo	qMIC %	RB mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo h ⁻¹	qCO₂ (mg C-CO ₂ mg ⁻¹ C-BM h ⁻¹) x 10 ⁻³	Urease μg N-NH ₄ g ⁻¹ solo h ⁻¹
Adubação de sistemas	25,3 ns	1,2 ns	3,7 ns	10,7 ns	3,9 ns
Adubação convencional	25,8	1,2	3,5	11,7	4,0
Adubação nitrogenada no pasto					
Presença	28,1 a	1,1 ns	3,4 ns	10,9 ns	3,8 ns
Ausência	23,9 b	1,2	3,8	11,5	3,7

Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) apresentou interação entre os fatores analisados (Figura 7). A FDA foi 29% superior com adubação de sistemas sem N no pasto em comparação com a adubação convencional, e 39% superior com adubação de sistemas, quando comparado à adubação de sistemas e nitrogenada no pasto. Por outro lado, a FDA não foi alterada ao comparar a adubação de sistemas e convencional nas áreas com N no pasto, com médias semelhantes de 7,7 e 7,8 mg fluoresceína g⁻¹ solo h⁻¹. Ao observar os resultados para a adubação convencional, não houve diferença entre a presença ou ausência de N no pasto com valores de 7,8 e 8,3 mg fluoresceína g⁻¹ solo h⁻¹.

Figura 7 - Atividade enzimática da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) em sistema integrado de produção agropecuária com diferentes estratégias de adubação (convencional na soja e de sistemas no pasto) e presença ou ausência de adubação nitrogenada no pasto.

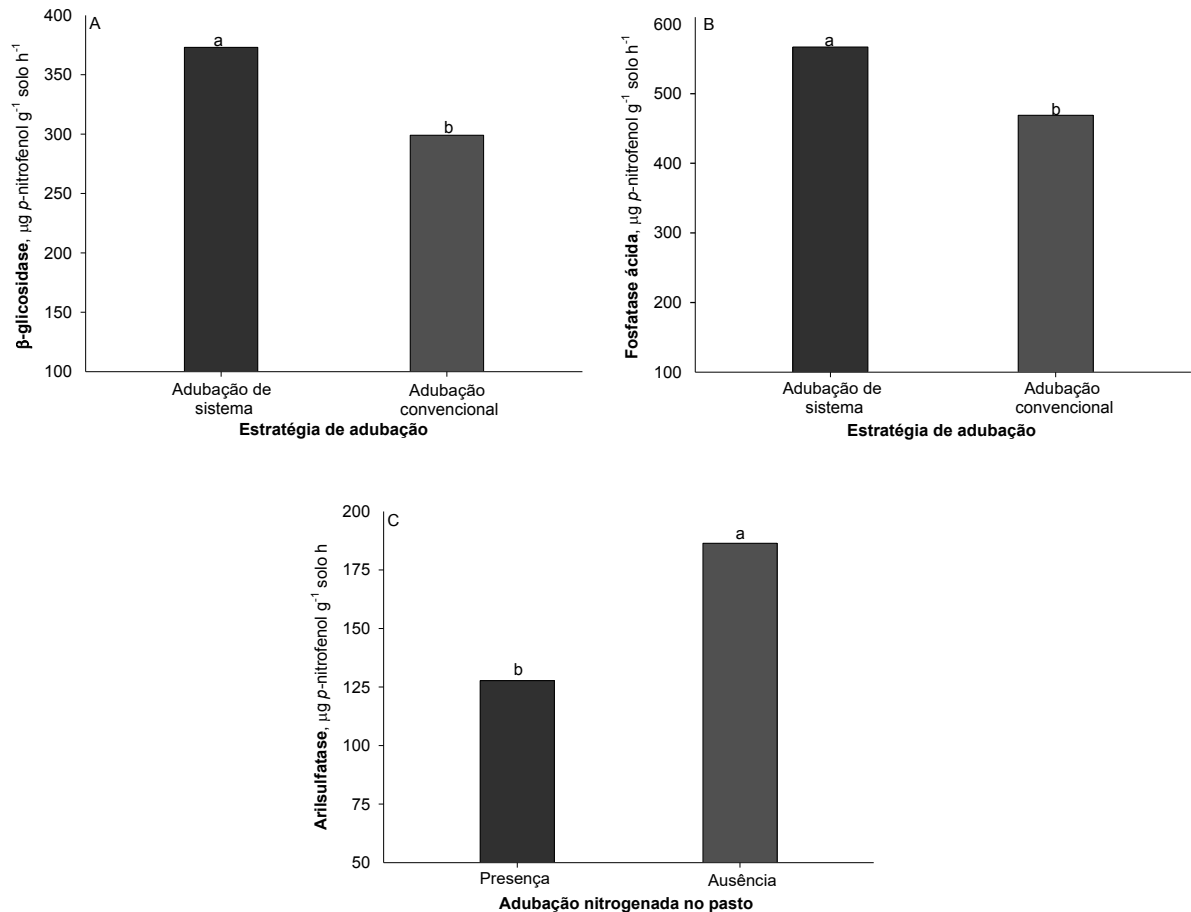


Médias seguidas da mesma letra, minúsculas entre linhas e maiúsculas entre colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A estratégia de adubação influenciou a atividade das enzimas β -glucosidase e fosfatase ácida, com maior atividade dessas enzimas quando feita a adubação de sistemas (Figura 8A, B). Esse aumento foi de 25% para a β -glucosidase e de 21% para a fosfatase ácida, em relação às áreas com adubação convencional. Já a adubação nitrogenada no pasto não influenciou a atividade dessas enzimas.

A atividade da enzima urease não foi afetada pela estratégia de adubação ou adubação nitrogenada no pasto (Tabela 3). A atividade dessa enzima variou de 3,7 a 4,1 mg N-NH₄ g⁻¹ solo h⁻¹. A estratégia de adubação não afetou a atividade da arilsulfatase (Figura 8C). Por outro lado, a atividade da enzima foi 46% superior nas áreas onde não houve adubação nitrogenada na fase pastagem incrementou em 46% a atividade dessa enzima, em comparação com a adubação nitrogenada.

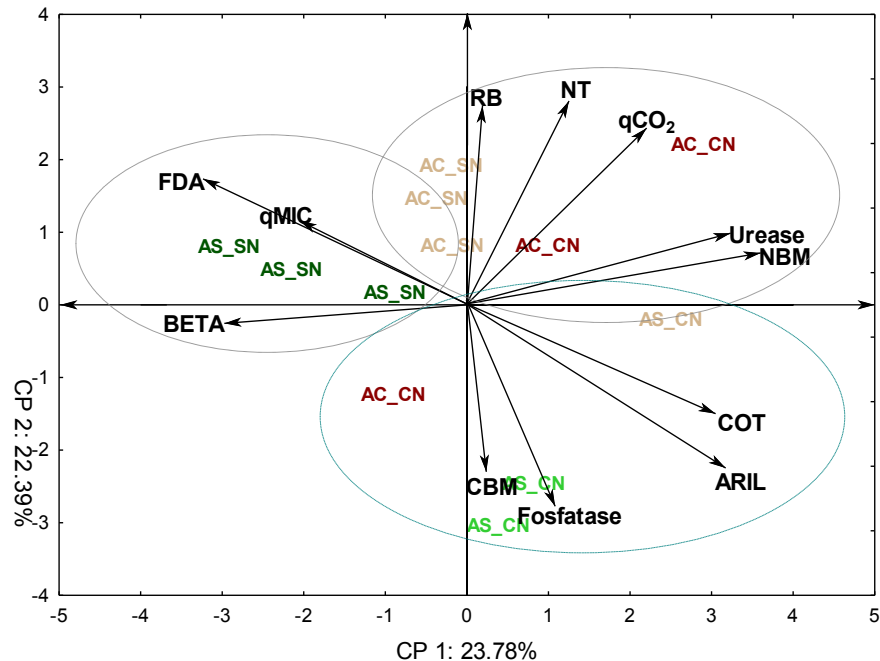
Figura 8 - Atividade enzimática da β -glicosidase (A), fosfatase ácida (B) e arilsulfatase (C) em sistema integrado de produção agropecuária com diferentes estratégias de adubação (convencional na soja e de sistemas no pasto) e presença ou ausência de adubação nitrogenada no pasto.



ns: não significativo. Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de componentes principais (ACP) possibilitou melhor avaliação de grupos de atributos inter-relacionados com as estratégias de adubação em estudo. A análise mostrou o agrupamento de três grupos definidos por estratégia de adubação (adubação de sistemas ou convencional) e dois sub-agrupamentos descrito pela adubação nitrogenada com adubação de sistemas (Figura 9).

Figura 9 – Biplot dos componentes principais dos indicadores de qualidade do solo em sistema integrado de produção agropecuária com diferentes estratégias de adubação (convencional na soja e de sistemas no pasto) e presença ou ausência de adubação nitrogenada no pasto.



AC_CN: Adubação convencional e nitrogenada no pasto; AC_SN: Adubação convencional sem adubação nitrogenada no pasto; AS_CN: Adubação de sistemas e nitrogenada no pasto; AS_SN: Adubação de sistemas sem adubação nitrogenada no pasto. CP 1: Componente principal 1; CP 2: Componente principal 2. Beta: β -glicosidase; NBM: Nitrogênio da biomassa microbiana; qMIC: quociente microbiano; Aril: Arilsulfatase; FDA: Hidrólise do diacetato de fluoresceína; CBM: Carbono da biomassa microbiana; COT: Teor de carbono orgânico total; RB: Respiração basal; NT: Nitrogênio total.

As variáveis COT, arilsulfatase, fosfatase ácida e C-BM foram altamente relacionadas, estando ligadas aos tratamentos com adubação de sistemas e nitrogenada no pasto, no mesmo sentido, as variáveis qMIC, FDA e β -glicosidase foram intimamente ligadas às áreas com adubação de sistemas sem nitrogênio no pasto e o N-BM e urease se relacionaram às áreas com adubação nitrogenada no pasto, independente da estratégia de adubação utilizada.

2.4 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que a estratégia de adubação pode resultar no aumento do teor de COT do solo, isso pode ser atribuído ao fato de que a aplicação de fertilizantes na fase pastagem em SIPA podem incrementar no rendimento do pasto e como resultado disso ocasionar maiores entradas de matéria orgânica no solo (GRAHAM E HAYNES, 2005) como produção de raízes e resíduos que retornam ao solo após a retirada dos animais.

Isso se torna algo muito importante pelo curto tempo de condução do experimento, demonstrando que a estratégia de adubação pode modificar a matéria orgânica no sistema. Além disso, a contribuição do P para maior formação de raízes também favorece aumento na biomassa microbiana do solo pela maior liberação de exsudatos (COONAN et al., 2019) auxiliando na imobilização de C pela microbiota, conforme demonstrado no estudo.

Analisar o C orgânico pode impactar na atividade enzimática do solo, já que o C orgânico pode ser uma fonte de produção da enzima e até mesmo um substrato para degradação da enzima. Ao abordar o tema de intensificação sustentável dos modelos de produção atuais, deve-se considerar a atividade das enzimas do solo que são associadas à diversidade de microrganismos e também podem determinar a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade da planta (OZLU et al., 2019).

Conforme dito, o C desempenha um papel fundamental na atividade enzimática e os resultados desse estudo evidenciam isso, principalmente em relação a enzima β -glicosidase que está intimamente relacionada com os estoques de matéria orgânica do solo, sendo que aumento em sua atividade também sinaliza aumento na imobilização de C pela biomassa microbiana do solo (ADETUNJI et al., 2017). Isso é evidenciado pelos resultados de C-BM (Figura 8) e COT (Figura 5) onde a adubação de sistemas proporcionou maior sequestro de C.

O comportamento da fosfatase ácida foi semelhante, com maiores valores com adubação de sistemas, esses resultados indicam um importante comportamento, em que demonstra que sua atividade está relacionada à época de adubação com P e K, de forma que a atividade da fosfatase foi maior no momento de maior necessidade da cultura, já que a demanda de fósforo pela soja a partir do

estágio de pleno florescimento é alta (BARTH et al., 2018) deixando o P menos susceptível a ser imobilizado no solo.

Além disso, esse resultado já era esperado, pela característica indutiva dessa enzima, já que a atividade de fosfatases no solo pode ser estimulada por um processo resultante da expressão gênica, que é resultado da redução da disponibilidade de P no solo (GATIBONI et al., 2008), isso demonstra a razão da atividade superior de fosfatases nos tratamentos com adubação de sistemas, já que a fertilização com P ocorreu meses antes da amostragem e provavelmente a disponibilidade de P nessas áreas no período de florescimento da soja é menor, em comparação com os tratamentos com adubação convencional.

Os resultados de FDA foram superiores sob adubação de sistemas sem aplicação de nitrogênio no pasto, isso não era esperado, uma vez que a aplicação de N no pasto pode ter possibilitado maior produção e consequente maior incorporação de matéria orgânica no solo, nesse caso, isso pode ser atribuído a um grande número de fatores bióticos a abióticos que podem interferir na atividade dessa enzima, especialmente pelo fato da FDA representar a microbiota ativa do solo (GRAHAM E HAYNES, 2005) sendo sensível a diversos fatores como tipo de vegetação, pH, umidade, temperatura, estabilidade de agregados e teor de matéria orgânica (NAVES et al., 2020).

Outro aspecto a ser considerado no estudo é a época de amostragem do solo, já a atividade da biomassa microbiana provavelmente obteve seu pico logo após a fertilização nos tratamentos com adubação de sistemas e nitrogenada no pasto, isso se relaciona com as condições de precipitação pluviométrica nos dias após a aplicação dos fertilizantes nessas áreas. Silva et al. (2015) encontraram diferenças nos valores de FDA entre as épocas de amostragem de solo e atribuíram isso às diferenças nas taxas de precipitação entre as épocas.

Nesse sentido, a atividade da urease também pode ter tido seu pico antecipado após a aplicação de N nas áreas de pasto com adubação nitrogenada, já que a enzima não foi sensível em discriminar os efeitos dos tratamentos avaliados. Esse comportamento indica que como já dito, provavelmente a época de coleta de solo influenciou nesse resultado, o que é evidenciado pela média de valores de urease apresentada no estudo, que é considerado baixa, em torno de $3.8 \mu\text{g N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$ (SOUZA et al. 2020). Lanna et al. (2010) encontraram máxima atividade

da urease entre o sétimo e oitavo dia após a aplicação de fertilizante nitrogenado, independente do sistema de preparo e do tipo de planta de cobertura no solo.

Os resultados do estudo demonstram como a adubação nitrogenada no pasto podem influenciar na atividade da arilsulfatase, enzima que atua na hidrólise de ésteres de sulfatos do solo, com grande importância na mineralização do S orgânico (Tabatabai, 1994). A alta atividade da arilsulfatase nas áreas onde não houve aplicação de N é um resultado importante para o estudo, já que a cultura da soja é muito dependente de enxofre (S) (BROCH et al., 2011) e a época de amostragem do solo condiz com o pleno florescimento da soja, isso ocorre porque as arilsulfatases são enzimas indutivas e podem aumentar ou diminuir de acordo com a disponibilidade de sulfato no solo e necessidade das plantas.

O comportamento da enzima arilsulfatase pode ser explicado pelo conteúdo de matéria orgânica no solo ocasionado pela adubação nitrogenada no pasto, esse resultado foi consistente com os resultados encontrados por Chen et al. (2016), que apresentaram redução na atividade da arilsulfatase sob adubação com N, pois como foi afirmado anteriormente a arilsulfatase é uma enzima indutiva e uma concentração mais alta de S no solo (ocasionada pelo conteúdo de matéria orgânica em função adubação nitrogenada) pode diminuir a atividade desta enzima.

A adubação nitrogenada no pasto favoreceu aumento no N-BM, em relação à ausência de adubação (Tabela 3). Kallenbachy; Grandy (2011), em estudo, verificaram que a aplicação moderada de N ($100-200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) resultou em aumento no N-BM. Alguns autores atribuem esse comportamento ao aumento na biomassa microbiana e consequente imobilização de N por suas células (GRAHAM et al., 2002), também maior fertilidade do solo causada pela adubação e subsequente retorno dos resíduos ao solo (SILVAN et al., 2003).

Da mesma forma, a RB e o $q\text{CO}_2$ (Tabela 3) demonstraram que, independente da estratégia de adubação ou aplicação de N no pasto, a atividade metabólica não é afetada. Isso indica condições benéficas para a atividade microbiana do solo, o que demonstra condições de estabilidade (CARDOZO JUNIOR et al., 2016). O $q\text{MIC}$ também não foi afetado pela estratégia de adubação e presença de N no pasto. Porém, independentemente do sistema adotado, os valores do $q\text{MIC}$ se encontram acima do considerado limitante à atividade microbiológica do solo, que são valores inferiores a 1% (JAKELAITIS et al., 2008).

A aplicação da ACP nesse estudo reduziu as 12 variáveis de solo avaliadas a dois componentes principais e foi capaz de capturar 46,17% da variância original. Além disso, a adubação de sistemas com e sem N no pasto e adubação convencional foram distribuídos de maneiras diferentes ao longo dos eixos de ordenação (Figura 9). Isso indica que é possível demonstrar quais são as variáveis mais sensíveis às estratégias de adubação e adubação nitrogenada.

Nesse estudo, é possível entender a importância da microbiologia do solo sobre a sua fertilidade, o que foi reforçado na ACP. Isso é embasado pelo fato das comunidades microbianas estarem em contato com os microambientes do solo e dessa forma, serem facilmente sujeitas a mudanças após a alteração na disponibilidade de nutrientes no solo (WRIGHT; REDDY, 2008). Nesse sentido, o manejo adotado pode afetar a estrutura e a própria função da atividade dos microrganismos, o que pode ser descrito pelas mudanças nos indicadores de qualidade do solo, como biomassa microbiana e atividades enzimáticas extracelulares (CASTILLO; WRIGHT, 2008).

2.5 CONCLUSÕES

1. A adubação de sistemas e nitrogenada no pasto altera os indicadores de qualidade do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado.

2. A adubação de sistemas favorece o aumento nos teores de COT, FDA, β -glicosidase e fosfatase ácida do solo;

3. A adubação nitrogenada no pasto influencia na atividade da arilsulfatase e no N-BM. Além disso, a adubação de sistemas aliada à adubação nitrogenada no pasto incrementa os valores de C-BM.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de adubação de sistemas representa uma importante oportunidade para a intensificação sustentável em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), modificando os indicadores de qualidade do solo, de forma que beneficie os microrganismos. Neste sentido, pode-se afirmar que este foi um estudo inicial, em que o protocolo experimental tem pouco tempo de condução, mas fundamental para caracterização da atividade microbiana do solo sob diferentes estratégias de fertilização.

Esse trabalho trouxe uma nova visão sobre uma estratégia de manejo para se utilizar em SIPA e as consequências da adubação de sistemas para o componente solo. Após a compreensão dos resultados obtidos, pode-se comprovar que o manejo da fertilização em diferentes arranjos temporais pode ocasionar em alterações nos indicadores de qualidade do solo, com maior sequestro de carbono e como a microbiota se modifica de acordo com a disponibilidade de nutrientes no solo.

A qualidade do solo reflete maior equilíbrio do sistema, maior ciclagem de nutrientes pelos microrganismos e com isso, pode manter a mesma produtividade da cultura de grãos ou até mesmo aumentar, essas análises serão realizadas posteriormente para título de recomendação do sistema, junto com a análise de forragem e produção animal, de forma a demonstrar sustentabilidade do mesmo.

Cada vez mais se torna necessário a preocupação com aumentar a produção de alimentos de forma sustentável, nesse contexto, a adubação de sistemas pode ser uma eficiente ferramenta para isso, no quesito ambiental e econômico, já que traz a possibilidade de aumentar a produção com a otimização do uso de insumos. Portanto, os próximos passos estão relacionados a estudos futuros com um longo tempo de condução do experimento, com uma análise detalhada de todos os componentes do sistema (lavoura, animal e solo). O maior desafio é a complexidade desse tipo de sistema, uma vez que envolve muitos fatores.

REFERÊNCIAS

ADETUNJI, A. T.; LEWU, F. B.; MULIDZI, R.; NCUBE, B. The biological activities of β -glucosidase, phosphatase and urease as soil quality indicators: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 794-807, 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000300018>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, Jan. 2013. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (q_{CO_2}) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soil. **Soil Biol. Biochem.**, v. 25, p. 393-395, 1993.

ASSMANN, T. S. et al. Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária. In: JAMHOUR, J.; ASSMANN, T. S. (Org.). **Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1 Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil**. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 67–84.

BARTH, G.; FRANCISCO, R.; SUYAMA, J.T.; GARCIA, F. Nutrient Uptake Illustrated for Modern, High-Yielding Soybean. **Better Crops**, v. 102, p. 11-14, 2018.

BROCH, D. L.; PAVINATO, P. S.; POSSENTI, J. C.; MARTIN, T. N.; QUIQUI, E. M. D. Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre. **Rev. Ciênc. Agron.** v.42, p. 791-796, Set., 2011.

BROOKES, P.C. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen. **Soil Biol. Biochem.** v. 17, p. 837-842, 1985. DOI: 10.1016/0038-0717(85)90144-0.

BÜNEMANN, E. K.; BONGIORNO, G.; BAI, Z.; CREAMER, R. E.; DEYN, G. D.; GOEDE, R. D.; FLESKENS, L.; GEISSEN, V.; KUYPER, T. W.; MÄDER, P.;

PULLEMAN, M.; SUKKEK, W.; GROENIGEN, J. W. V.; BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

CARDOZO JUNIOR, F. M.; CARNEIRO, R. F. V.; ROCHA, S.; NUNES, L. A. P. L. The Impact of Pasture Systems on Soil Microbial Biomass and Community-level Physiological Profiles: Pasture Systems on Microbial Biomass and Community-level Profiles. **Land Degradation and Development**, v. 29, 2016.

CASTILLO, M. S.; WRIGHT, A. L. Soil phosphorus pools for histosols under sugarcane and pasture in the Everglades, USA. **Geoderma**, v. 145, p. 130-135, 2008.

CHEN, H.; YANG, L.; WEN, L.; LUO, P.; LIU, L.; YANG, Y.; WANG, K.; LI, D. Effects of nitrogen deposition on soil sulfur cycling. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 30, p. 1568–1577, 2016. Doi:10.1002/2016GB005423.

COONAN, E. C.; RICHARDSON, A. E.; KIRKBY, C. A.; KIRKEGAARD, J. A.; AMIDY, M. R.; SIMPSON, R. J.; STRONG, C. L. Soil carbon sequestration to depth in response to long-term phosphorus fertilization of grazed pasture. **Geoderma**, v. 338, p. 226-235, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.052>.

DAVINIC, M.; MOORE-KUCERA, J.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; ZAK, J.; ALLEN, V. Soil fungal distribution and functionality as affected by grazing and vegetation components of integrated crop–livestock agroecosystems. **Appl Soil Ecol**, v. 66, p. 61–70, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.013>.

DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P.; TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (eds). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Sci. Soc. Am. J.; 1996. p.247-272.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biol. Biochem**, v.20, p. 601-60, 1988.

FARIAS, G. D.; DUBEUX, J. C. B.; SAVIAN, J. V.; DUARTE, L. P.; MARTINS, A. P.; TIECHER, T.; ALVES, L. A.; CARVALHO, P. C. F.; BREMM, C. Integrated crop-livestock system with system fertilization approach improves food production and resource-use efficiency in agricultural lands. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40:39 p. 2-9, 2020.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1085-1091, 2008.

GE, S.; ZHU, Z.; JIANG, Y. Long-term impact of fertilization on soil pH and fertility in an apple production system. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 18, p. 282-293, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162018005001002>.

GHOSH, B. N.; MEENA, V. S.; SINGH, R. J.; ALAM, N. M.; PATRA, S.; BHATTACHARYYA, R.; SHARMA, N. K.; DADHWAL, K. S.; MISHRA, P. K. Effects of fertilization on soil aggregation, carbon distribution and carbon management index of maize-wheat rotation in the north-western Indian Himalayas. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 415-424, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.050>.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J. Organic matter accumulation and fertilizer-induced acidification interact to affect soil microbial and enzyme activity on a long-term sugarcane management experiment. **Biology and Fertility of Soil**, v. 42, p. 249-256, 2005.

GRAHAM, M.H.; HAYNES, R.J.; MEYER, J.H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, v.34, p.93-102, 2002.

HAIR J, R.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; Black. **Análise multivariada de dados**. Bookman, Porto Alegre, 2005.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Accumulation of soil organic matter and the forms, mineralization potential and plant-availability of accumulated organic sulphur: effects of pasture improvement and intensive cultivation. **Soil Biol. Biochem.**, v. 24, p. 209-217, 1992.

HAYNES, R.; WILLIAMS, P. Nutrient Cycling and Soil Fertility in the Grazed Pasture Ecosystem. **Advances in Agronomy**, v. 49, p. 119–199, 1993.

HEIDARI, G.; MOHAMMADI, K.; SOHRABI, Y. Responses of Soil Microbial Biomass and Enzyme Activities to Tillage and Fertilization Systems in Soybean (*Glycine max* L.) Production. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 1730, 2016.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.. 38, p. 118-127, 2008.

JEFFERS, J. N. R. An Introduction to System Analysis: with Ecological Applications. **E. Arnold Publ**, London, 1978.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol. Biochem.**, v. 8, p. 167-177, 1976.

KALLENBACH, C.; GRANDY, A. S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis. **Agric. Ecosyst. Environ.** v. 144, p. 241 – 252, 2011. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.020>.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, M. B.; FERRARESI, T. M. KLIEMANN, H. J. Urease activity in the soil with beans influenced by vegetation cover and planting systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1933-1939, 2010.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; ARAUJO, A. S. F.; FERRAUDO, A. S.; BERTIPAGLIA, L. M. A. Soil microbial biomass and enzyme activity in six Brazilian oxisols under cropland and native vegetation. **Soil And Plant Nutrition**, v. 79, p. 498 – 504, 2020.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G. DE ; REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, p. 191, 2015

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; LUSTOSA, S. B. C.; LANG, C. R. DEISS, L. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1024-1031, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500018>.

NAVES, A. P.; SILVA, A. O.; BARBOSA, M. V.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V. SAGGIN JUNIOR, O. J.; GUIMARÃES, P. T. G.; CARNEIRO, M. A. C. Biochemical parameters of an Oxisol submitted to high doses of gypsum in the coffee culture. **Coffe Science**, v. 15, p. 1-9, 2020.

ORGILL, S.; CONDON, J.; KIRKBY, C.; ORCHARD, B.; CONYERS, M.; GREENE, R.; MURPHY, B. Soil with high organic carbon concentration continues to sequester carbon with increasing carbon inputs. **Geoderma**, v. 285, p. 151-163, 2017.

OZLU, E.; SANDHU, S. S.; KUMAR, S.; ARRIAGA, F. J. Soil health indicators impacted by long-term cattle manure and inorganic fertilizer application in a corn-soybean rotation of South Dakota. **Scientific reports**, v. 9, 11776, Ago. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48207-z>.

SEKARAN, U.; MCCOY, C.; KUMAR, S.; SUBRAMANIAN, S. Soil microbial community structure and enzymatic activity responses to nitrogen management and landscape positions in switchgrass (*panicum virgatum* L.). **GCB Bioenergy**, v.11, p. 836–851, 2019. DOI: 10.1111/GCBB.12591.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, D. A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. Indicadores Microbiológicos de Solo em Pastagem com Aplicação Sucessiva de Dejetos De Suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1585-1594, 2015.

SILVAN, N.; VASANDER, H.; KARSISTO, M.; LAINE, J. Microbial immobilisation of added nitrogen and phosphorus in constructed wetland buffer. **Applied Soil Ecology**, v.24, p.143-149, 2003.

SOUZA, M.; VARGAS, M. M. M.; VENTURA, B. S.; JÚNIOR, V. M.; SOARES, C. R. F. S.; KURTZ, C.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. Microbial activity in soil with onion grown in a no-tillage system with single or intercropped cover crops. **Ciência Rural**, v. 50, 2020.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Aust. J. Soil Res.** v. 30, p. 195-207, 1992. DOI: 10.1071/sr9920195.

SPARLING, G. P.; WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C-labeled cells. **Soil Biol. Biochem.** v. 20, p. 337-343, 1988. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90014-4).

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, RW (eds). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Sci. Soc. Am. J.; 1994. p.775-833.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Science Society of America.**, v. 34, p. 225-229, Abr. 1970. <https://doi.org/10.2136/sssaj1970.03615995003400020016x>.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J.M. Assay of urease activity in soil. **Soil Biol. Biochem.**, v. 4, p. 479-487, Nov. 1972.

TATE, K. R.; ROSS, D. J.; FELTHAM, C. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biol. Biochem.**, v. 20, p. 329-335, 1988. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90013-2).

TEDESCO et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos, 1995.

VANCE, E. D. BROOKES, P.C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biol. Biochem.** v. 19, p. 703-707, 1987. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6).

WRIGHT, A. L.; REDDY, K. R. Catabolic diversity of periphyton and detritus microbial communities in a subtropical wetland. **Biogeochemistry**, v. 89 p. 199-207, 2008.

YUAN, M., DUAN, J., LI, J.; JIAN, S.; GAMAGE, L.; DZANTOR, K. E.; HUI, D.; FAY, P. A. Effects of nitrogen fertilization and bioenergy crop species on central tendency and spatial heterogeneity of soil glycosidase activities. **Sci Rep**, v. 10, 19681, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76837-1>.

APÊNDICES

Apêndice 1 –	Análise de variância para a β -glicosidase em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	49
Apêndice 2 –	Análise de variância para a fosfatase ácida em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	49
Apêndice 3 –	Análise de variância para a urease em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	49
Apêndice 4 –	Análise de variância para a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	49
Apêndice 5 –	Análise de variância para o quociente microbiano (qMIC) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	50
Apêndice 6 –	Análise de variância para a respiração basal (RB) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	50
Apêndice 7 –	Análise de variância para o quociente metabólico (qCO ₂) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	51
Apêndice 8 –	Análise de variância para o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	51

Apêndice 9 –	Análise de variância para o teor de carbono orgânico total (COT) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	51
Apêndice 10 –	Análise de variância para o carbono da biomassa microbiana (C-BM) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	52
Apêndice 11 –	Análise de variância para a arilsulfatase em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.....	52

Apêndice 1 – Análise de variância para a β -glicosidase em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	33235	33235	4.7424	0.04157*
Fator2	1	24888	24888	3.5514	0.007411
Fator1*Fator2	1	3033	3033	0.4327	0.51815

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 2 – Análise de variância para a fosfatase ácida em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	58234	58234	6.0968	0.02267*
Fator2	1	37704	37704	3.9474	0.06082
Fator1*Fator2	1	1856	1856	0.1943	0.66407

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 3 – Análise de variância para a urease em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	0.07106	0.07106	0.1373	0.7162
Fator2	1	0.93845	0.93845	1.8133	0.1981
Fator1*Fator2	1	0.00549	0.00549	0.0106	0.9193

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 4 – Análise de variância para a hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	7.4192	7.4192	4.1235	0.060409
Fator2	1	17.6566	17.6566	9.8135	0.006845**
Fator1*Fator2	1	9.6930	9.6930	5.3873	0.034778*

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$) *Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 5 – Análise de variância para o quociente microbiano (qMIC) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	0.003158	0.003158	0.0435	0.8375
Fator2	1	0.012713	0.012713	0.1752	0.6814
Fator1*Fator2	1	0.249044	0.249044	3.4326	0.0837

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 6 – Análise de variância para a respiração basal (RB) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	0.20151	0.20151	0.2903	0.5960
Fator2	1	1.02957	1.02957	1.4831	0.2375
Fator1*Fator2	1	0.04555	0.04555	0.0656	0.8004

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 7 – Análise de variância para o quociente metabólico (qCO₂) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	6.5948	6.5948	1.5667	0.22986
Fator2	1	2.8668	2.8668	0.6810	0.42216
Fator1*Fator2	1	14.3707	14.3707	3.4139	0.08447

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 8 – Análise de variância para o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	12.891	12.891	1.0595	0.319651
Fator2	1	106.023	106.023	8.7136	0.009895**
Fator1*Fator2	1	6.564	6.564	0.5395	0.473984

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$) *Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 9 – Análise de variância para o teor de carbono orgânico total (COT) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	64.769	64.769	10.8493	0.004921*
Fator2	1	1.687	1.687	0.2825	0.602839
Fator1*Fator2	1	1.470	1.470	0.2462	0.626947

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 10 – Análise de variância para o carbono da biomassa microbiana (C-BM) em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	20128.4	20128.4	9.5511	0.007461*
Fator2	1	561.4	561.4	0.2664	0.613292
Fator1*Fator2	1	15968.2	15968.2	7.5770	0.014801*

*Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.

Apêndice 11 – Análise de variância para a arilsulfatase em sistema integrado de produção agropecuária sob adubação de sistemas.

Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F	P
Fator1	1	28.8	28.8	0.0434	0.840249
Fator2	1	10360.1	10360.1	15.5864	0.004248**
Fator1*Fator2	1	295.5	295.5	8.04446	0.523654

** Significativo a 1% de probabilidade ($p < 0.01$) *Significativo a 5% de probabilidade ($p < 0.05$); ¹ Graus de liberdade; ² Soma de quadrados; ³ Quadrado médio.