



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS - CESBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE -
PPGAA**

NATANNAEL CASTRO VILHENA

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM SISTEMA
AGROSSILVIPASTORIL ADUBADO NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO**

Balsas - MA
2022

NATANNAEL CASTRO VILHENA

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM SISTEMA
AGROSSILVIPASTORIL ADUBADO NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário
Coorientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Balsas – MA
2022

Vilhena, Natannael Castro.

Atributos do solo e produção de forragem em sistema agrossilvipastoril adubado no ecótono Amazônia - Cerrado / Natannael Castro Vilhena. – Balsas, MA, 2022.

79 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientadora: Valéria Xavier de Oliveira Apolinário

Coorientador: Luciano Cavalcante Muniz

1. Agroecossistemas. 2. Qualidade do solo. 3. *Megathyrsus maximus* cv. Massai.
4. Serviços ambientais. I. Título.

CDU: 631.95(811.3)

NATANNAEL CASTRO VILHENA

**ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM SISTEMA
AGROSSILVIPASTORIL ADUBADO NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário

Coorientador: Prof. Dr. Luciano Cavalcante Muniz

Aprovada em 21/12/2022

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 VALERIA XAVIER DE OLIVEIRA APOLINARIO
Data: 23/02/2023 19:39:20-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^ª. Dr^ª. Valéria Xavier de Oliveira Apolinário
Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

Documento assinado digitalmente
 ERICK RODRIGO DA SILVA SANTOS
Data: 23/02/2023 20:40:17-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Erick Rodrigo da Silva Santos
University of Alberta

Documento assinado digitalmente
 JOSE ANTONIO ALVES CUTRIM JUNIOR
Data: 27/02/2023 09:41:45-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. José Antônio Alves Cutrim Junior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA

Documento assinado digitalmente
 VALERIA XAVIER DE OLIVEIRA APOLINARIO
Data: 23/02/2023 19:39:20-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

*A Deus, pois sem Ele nada teria feito.
A minha mãe Rosilda Freitas dos Santos que acreditou muito em mim, e motivou-me a
permanecer firme diante de tantas dificuldades.*

*A minha namorada Nara Grazielle Gomes Penha que esteve comigo em cada etapa,
sempre dizendo que eu iria conseguir.*

*Ao meu irmão Joseilson dos Santos Castro (in memoriam), quase desisti pela dor de
sua perda no momento da escrita deste trabalho, mas depois passei a me dedicar para
alcançar esse sonho por ele.*

*Aos mestres Prof^{as}. Valéria Apolinário, Dr. Joaquim Costa, Prof^o. Luciano Muniz e Prof^a
Izabela Gomes por todo o apoio na pesquisa e na escrita deste trabalho, sou eternamente
grato.*

DEDICO

Jesus, fitando neles o olhar, disse-lhes: Isto é impossível aos homens, mas para Deus tudo é possível.

Mateus 19:26

A verdadeira educação significa mais do que avançar em determinado programa de estudo. É muito mais do que a preparação para a vida presente. Diz respeito ao ser por completo, durante toda a vida. É o desenvolvimento harmonioso das aptidões físicas, mentais e espirituais.

Ellen G. White

AGRADECIMENTOS

“Em tudo, dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus para convosco.” (1 Tessalonicenses 5:18). Acima de tudo dou graças ao meu bom Deus, pois creio que todas as minhas conquistas vêm de Suas mãos.

Chego ao final de mais um ciclo da vida acadêmica, o mestrado, aqui realizo um sonho, meu e de minha mãe Rosilda Freitas, mulher que batalhou muito, tornando possível a conclusão de cada etapa da minha vida até aqui, minhas conquistas são o reflexo do seu amor materno, e sou muito grato a tudo o que ela fez, faz e fará por mim. Ela representa toda a minha família que muito me apoiou e muitas vezes acreditou em mim, mais do que eu mesmo. Também sou grato a Nara Grazielle, minha namorada, que muito me ajudou, que usou as palavras certas nos momentos difíceis, que fez e faz eu acreditar no meu potencial, mesmo que eu não me ache capaz. Obrigado Família!

À minha orientadora professora Valéria Xavier de Oliveira Apolinário, a qual tenho muita admiração, obrigado pela paciência, confiança, orientação, e suporte na realização deste trabalho. Uma excelente profissional, muito atarefada, que ainda assim se dedica em fazer com que todos aqueles que estão ao seu redor se sintam capazes, e conquistem seus objetivos, ensinando sempre a serem diferenciados, me fez entender que as coisas fáceis qualquer um faz, e as difíceis só os melhores são capazes de fazer.

Ao meu Coorientador professor Luciano Cavalcante Muniz, que desde minha graduação já estava me esperando para ser seu orientando no mestrado, obrigado por todo apoio, paciência e conselhos. Sou muito grato a tudo que fez para que este sonho de concluir o mestrado se tornasse possível e por ter me ensinado a manter a calma diante dos problemas, pois o importante é resolver.

Agradeço a professora Ilka Cantanhede, que desde minha graduação esteve comigo. Foi ela a pessoa que percebeu o meu potencial para a pós-graduação e desde o primeiro período da graduação me falou do programa de mestrado da UEMA, e da possibilidade de seu esposo professor Luciano Muniz me orientar. Tudo deu certo, e durante as etapas da pesquisa ela deu apoio, mesmo distante, esteve comigo sempre.

Agradeço a professora Izabela Aline Gomes da Silva, que conheci através da minha orientadora, e que esteve ajudando-me durante todo o processo do mestrado até aqui, que foi amiga, orientadora e até psicóloga, que quando estava prestes a desistir devido um momento muito difícil que passei, me fez uma chamada de vídeo e suas

palavras foram fundamentais para eu voltar a acreditar que seria capaz, nunca vou esquecer deste ato tão marcante.

Agradeço ao Grupo de Inovação em Sistemas Integrados de Produção - GINTEGRA, por todo o apoio em cada etapa da pesquisa, que esteve comigo em campo e nos laboratórios, tornando meu trabalho possível, em especial a Giselle Cristina, Victor Hugo, Érika Corrêa, Halyne Silva e João Roberto Araújo que estiveram diretamente me acompanhando em campo e nas análises nos laboratórios.

Gostaria de dedicar um parágrafo para agradecer duas pessoas muito especiais, peças fundamentais para o início e conclusão desta etapa, Thaís Figueiredo e Maria Karoline Carvalho, amigas que se tornaram irmãs e me ensinaram cada etapa para iniciar minha pesquisa, obrigado por todo ensinamento, por cada conselho, por cada palavra de motivação, não vou esquecer do quanto foram importantes para a conclusão desta etapa.

Agradeço também aos meninos e meninas do Coral Lírio do Vale da igreja que frequento, estiveram comigo na luta da separação do capim, eles me ajudaram bastante, no meio do desespero para separar o capim verde do senescente o mais rápido possível para evitar perdas, eles me socorreram, tornando o trabalho rápido, fazendo-me manter a calma.

E por fim, em gratidão a todos os que contribuíram nesta jornada, dedico este trabalho como símbolo das lutas e vitórias que lutamos e conquistamos juntos, ninguém chega só a lugar algum. Obrigado a todos!

RESUMO

Níveis adequados de suplementação nitrogenada podem proporcionar ganhos mútuos entre os componentes de sistemas agrossilvipastoris. Objetivou-se avaliar os atributos do solo e composição química do capim *Megathyrsus maximus* Jack cv. Massai em consórcio com o milho (*Zea mays* L.) entre fileiras duplas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), no espaçamento de 30 × 3 × 2 m. O delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições. Cada bloco de 1 ha, foi subdividido em quatro piquetes de 0,25 ha com 276 árvores de sabiá/ha. Os tratamentos foram 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio (N), as adubações foram com ureia. Foram utilizados novilhos anelados (*Bos taurus*), com peso corporal (PC) médio inicial de 200 ± 35 kg, segundo técnica put-and-take, utilizando dois animais testes por piquete, e animais de ajustes de acordo com a disponibilidade de forragem [2 kg matéria verde seca (MVS) kg PC⁻¹]. Foram realizadas duas coletas de solos (ago/2020 e julho/2021). A avaliação dos atributos do solo foi realizada em cinco distâncias (0, 3,75, 7,5, 11,25 e 15 m) perpendiculares às fileiras duplas de sabiá. Foram abertas minitrincheiras (30 x 30 x 30 cm) para coleta das amostras indeformadas nas profundidades de 0–10, 10–20, 20–30 cm, e analisadas a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Amostras deformadas nas mesmas profundidades no sentido perpendicular às minitrincheiras foram coletadas para análise química solo (P, K⁺, Mg⁺² e Ca⁺²). A avaliação do massai foi realizado de jun/2021 a mar/2022 a cada 28 dias, e determinado a massa de forragem total (MFT) porcentagem de forragem verde (%FV) e senescente (%FS), altura e densidade da forragem (DF), proteína bruta da forragem verde (PBFV) e senescente (PBFS), matéria mineral da forragem verde (MMFV) e senescente (MMFS); fibra em detergente neutro da forragem verde (FDNFV) e senescente (FDNFS); fibra em detergente ácido da forragem verde (FDAFV) e senescente (FDAFS), lignina da forragem verde (LIGFV) e senescente (LIGFS). Utilizou-se o programa Proc Mixed do SAS e as médias de cada tratamento foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Ocorreram interações entre as distâncias da fileira de árvores e níveis de adubação para as variáveis macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Para microporosidade houve efeito de níveis de adubação e profundidade. O tratamento 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ sofreu diminuição na macroporosidade (0 m = 0,24 m⁻³ m⁻³ e 15 m = 0,22 m⁻³ m⁻³) e porosidade total (0 m = 0,62 m⁻³ m⁻³ e 15 m = 0,58 m⁻³ m⁻³) a medida em que se distanciou das árvores. O tratamento 100 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou menor macroporosidade (0,18 m⁻³ m⁻³) e porosidade total (0,54 m⁻³ m⁻³) na distância 0 m. O tratamento 200 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou maior macroporosidade e porosidade total (médias de 0,26 e 0,60 respectivamente). O tratamento 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou menor porosidade total com média de 0,57 m⁻³ m⁻³. A microporosidade foi menor nos tratamentos 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e maior na profundidade 0-10 cm. Para os atributos químicos houve interações entre ano, níveis de adubação e distâncias das fileiras de árvores. O ano 2020 apresentou menores concentrações de P, Mg⁺² e K⁺ na interação de fertilização e distâncias. O ano de 2020 apresentou maiores concentrações de P do que 2021 para todos os tratamentos. Mg foi menor em 2020 em todos os tratamentos, com exceção do 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ que nas distâncias 7,5, 11,25 e 15 m não diferiram entre os anos. O K apresentou menores valores no tratamento 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ em todas as distâncias no ano de 2020. No ano de 2021 foi observado maiores valores de soma de bases em todos os tratamentos. A massa de forragem não foi influenciada pelos níveis de adubação (variação de 2130 Kg MS ha⁻¹ a

2200 Kg ha⁻¹. A menor porcentagem de forragem verde (51,50%) e maior de senescente (48,89%) foi observado no tratamento sem adubação. As porcentagens de MM, PB, FDN e LIG não foi influenciada pela adubação. Janeiro de 2022 apresentou maior valor de MM (17,54% superior), LIG também foi maior neste mês (31,07% superior, juntamente com os meses de agosto e outubro de 2022. O menor valor de PB foi em julho de 2021 (24,43% inferior). FDN foi maior em agosto de 2021 e fevereiro de 2022 (15% e 12,15% superiores respectivamente). A adubação nitrogenada influencia os atributos do solo em sistema ILPF, proporcionando índices de porosidade adequadas para infiltração de água e trocas gasosas. Maiores concentrações de N estimulam a absorção do P pelas plantas, diminuindo a concentração deste macronutriente no solo, enquanto K e Mg são depositados lentamente no solo com a decomposição da serapilheira, sendo observados maiores concentrações com o passar do tempo. A adubação nitrogenada influencia na produtividade da forragem verde e morta, tratamentos adubados apresentam maior porcentagens de forragem verde. Menores concentrações de PB é observado nos períodos de baixa precipitação e elevadas temperaturas, maiores porcentagens de FDN e LIG verificados também no período de seca.

Palavras-Chaves: agroecossistemas, qualidade do solo, *Megathyrus maximus* cv. Massai, serviços ambientais.

ABSTRACT

Adequate levels of nitrogen supplementation can provide mutual gains between the components of agrosilvopastoral systems. The objective of this study was to evaluate soil attributes and chemical composition of *Megathyrsus maximus* Jack cv. Massai intercropped with maize (*Zea mays* L.) between double rows of sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), spaced $30 \times 3 \times 2$ m, and babassu (*Atallea speciosa* Mart.). The experiment was laid in a randomized complete block design with four treatments and three replications. Each block of 1 ha was subdivided into four paddocks of 0.25 ha, with an average of 35 babassu palm trees/ha and 276 sabiá trees/ha. The treatments were 0, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹ year⁻¹ of nitrogen (N), the fertilizations were with urea. Beef steers were used, with initial average body weight (BW) of 200 ± 35 kg, according to the put-and-take technique, with two tester animals per paddock, and adjustment animals according to forage availability [2 kg dry matter (MVS) kg BW⁻¹]. Two soil collections were carried out (Aug/2020 and July/2021). The evaluation of soil attributes was carried out at five distances (0; 3.5; 7.0; 10.5 and 14 m) perpendicular to the double rows of thrush. Mini trenches (30 x 30 x 30 cm) were opened to collect undisturbed samples at depths of 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 cm, and density, macroporosity, microporosity and total porosity were analyzed. Deformed samples at the same depths perpendicular to the mini-trenches were collected for soil chemical analysis (P, K⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺). The masai was evaluated from Jun/2021 to Feb/2022 every 28 days, and the total forage mass (MFT), percentage of green (%FV) and senescent (%FS), forage height and density (DF), green forage crude protein (PBFV) and senescent (PBFS), green forage mineral matter (MMFV) and senescent (MMFS); neutral detergent fiber from green (FDNFV) and senescent (FDNFS) forage; green (FDAFV) and senescent (FDAFS) forage acid detergent fiber, green (LIGFV) and senescent (LIGFS) forage (LIGFS) lignin. The SAS Proc Mixed program was used, and the means of each treatment were compared using Tukey's test, at a 5% probability level. The distance from the tree component did not significantly influence ($P < 0.05$) the physical attributes of the soil, however, there was a difference ($P < 0.05$) for microporosity, treatments 0 and 100 Kg N ha⁻¹ year⁻¹ showed values 11.2% higher than the other treatments. For soil chemical attributes, there was no difference ($P > 0.05$) between treatments, only between depths. P, Ca²⁺ and K⁺ nutrients were 31%, 8.82% and 23.53% higher in the superficial layer (0-10 cm) compared to the other layers. The year 2020 showed lower concentrations of P, Mg²⁺ and K⁺ in the interaction of fertilization and distances. Forage mass was not influenced by fertilization levels (variation from 2128 Kg N ha⁻¹ yr⁻¹ to 2203 Kg N ha⁻¹ yr⁻¹). Lower percentage of green forage (51.50%) and higher percentage of senescent (48.89%) was observed in the treatment without fertilization. The percentages of MM, PB, NDF and LIG were not influenced by fertilization. January 2022 showed a higher value of MM (17.54% more), LIG was also higher in this month (31.07% more, together with the months of August and October 2022). The lowest value of PB was in July 2021 (24.43% lower). FDN was higher in August 2021 and February 2022 (15 % and 12.15% higher respectively). The agrosilvopastoral systems under nitrogen fertilization, improves the physical and chemical conditions of the soil, providing the formation of macroaggregates. The chemical attributes present relevant results, but it requires more time to be observed. Nitrogen fertilization influenced positively in the production of MSV in agrosilvopastoral systems, as well as in the forage crude protein, being the treatments with higher applications of protein, presented higher concentrations in the forage.

Keywords: agroecosystems, soil quality, *Megathyrus maximus* cv. Masai, environmental services.

LISTA DE SIGLAS

FM – Forragem Morta

FV – Forragem Verde

C – Carbono

CO₂ - Dióxido de Carbono

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

C:N – Relação Carbono Nitrogênio

DF – Densidade da Forragem

FDA – Fibra em Detergente Ácido

FDN – Fibra em Detergente Neutro

FBN – Fixação Biológica de Nitrogênio

LIG – Lignina

MFT – Massa de Forragem Total

MM – Matéria Mineral

MS – Matéria Seca

MFVS – Massa de Forragem Verde Seca

N – Nitrogênio

PB – Proteína Bruta

PC – Peso Corporal

SB – Soma de Bases

PBFV – Proteína Bruta da Forragem Verde

PBFS – Proteína Bruta da Forragem Seca

MMFV – Matéria Mineral da Forragem Verde

MMFS – Matéria Mineral da Forragem Seca

LFV – Lignina da Forragem Verde

LFS – Lignina da Forragem Seca

FDNFV – Fibra em Detergente Neutro da Forragem Verde

FDNFS – Fibra em Detergente Neutro da Forragem Seca

Ca²⁺ – Cálcio

Mg²⁺ – Magnésio

P – Fósforo

K⁺ – Potássio

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2. ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.

Figura 1 – Temperatura (°C), balanço hídrico do solo (mm) e precipitação mensal (mm), do período experimental (jan/2020 a jul/2022), no município de Pindaré-Mirim, MA.....	38
Figura 2 – Arranjo experimental do sabiá, na URT de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, da Embrapa Cocais, Pindaré – Mirim, Brasil.....	40
Figura 3 – Croqui da área experimental, da URT de integração Lavoura-Pecuária-Floresta em Pindaré-Mirim, MA.....	41
Figura 4 – Representatividade de coleta de solo.....	42
Figura 5 – Microposidade do solo em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com diferentes níveis de adubação nitrogenada	48
Figura 6 – Microposidade e macroposidade do solo em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com diferentes níveis de adubação nitrogenada	49
Figura 7 – Interação adubação nitrogenada x ano de avaliação para o fósforo do solo em diferentes níveis de adubação nitrogenada	50
Figura 8 – Interação adubação nitrogenada x ano de avaliação x distância da fileira de árvores para o potássio do solo em diferentes níveis de adubação nitrogenada	52

CAPÍTULO 3. PRODUÇÃO DE *MEGATHYRSUS MAXIMUS* JACQ. CV. MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.

Figura 1 – Precipitação mensal (mm) de junho de 2021 a março de 2022 no município de Pindaré – Mirim, MA65

Figura 2 – Percentual de forragem verde e morta com base na massa total, em um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta com diferentes níveis de adubação nitrogenada68

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2. ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0-10, 10-20, 20-30 cm, em novembro de 2019.....	39
Tabela 2 - Atributos físicos da área experimental em novembro de 2019.....	39
Tabela 3 – Interação adubação nitrogenada × distância da fileira de árvores para macroporosidade do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.....	46
Tabela 4 – Interação adubação nitrogenada × distância da fileira de árvores para porosidade total do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.....	47
Tabela 5 – Interação adubação nitrogenada × ano de avaliação × distância da fileira de árvores para o magnésio do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.....	51
Tabela 6 – Interação adubação nitrogenada × ano de avaliação × distância da fileira de árvores para soma de bases do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.....	53
Tabela 7 – Propriedades químicas do solo em três profundidades, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.....	54

CAPÍTULO 3. PRODUÇÃO DE *MEGATHYRSUS MAXIMUS* JACQ. CV. MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.

Tabela 1 – Variáveis produtivas da forragem em um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com níveis de adubação nitrogenada.....	67
Tabela 2 – Variáveis produtivas da forragem em relação ao ciclo de avaliação, em um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com diferentes níveis de adubação nitrogenada.....	70
Tabela 3 – Composição químico-bromatológico da forragem verde em relação ao ciclo de avaliação, em um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com diferentes níveis de adubação nitrogenada	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
CAPÍTULO 1. REFERÊNCIAL TEÓRICO	22
1. SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL	22
2. ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.....	23
3. ADUBAÇÃO NITROGENADA	24
4. CAPIM MASSAI (<i>MEGATHYRSUS MAXIMUS</i> CV. MASSAI)	25
REFERÊNCIAS.....	27
 CAPÍTULO 2. ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.....	33
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1 Localização e Histórico da Área Experimental	38
2.2 Descrição e Delineamento Experimental	40
2.3 Coleta e Análise de solo	42
2.4 Análises Estatísticas	43
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
3.1 Atributos físicos do solo	44
3.2 Atributos químicos do solo	49
4. CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56
 CAPÍTULO 3. PRODUÇÃO DE <i>MEGATHYRSUS MAXIMUS</i> JACQ. CV. MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.....	60
1. INTRODUÇÃO	62
2. MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1 Localização e Histórico da Área Experimental.....	64
2.2 Avaliação da produção do capim Massai	64
2.3 Análise da composição química do capim Massai	65
2.4 Análises Estatísticas.....	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
3.1 Produtividade do capim Massai	67
3.2 Composição química do capim Massai	70
4. CONCLUSÃO.....	74
CONCLUSÕES GERAIS.....	75

REFERÊNCIAS.....	76
------------------	----

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de alimentos em decorrência de seus resultados expressivos na produção agropecuária e utilização intensa de tecnologias, possibilitando uma maior produção com menor custo, aprimoramento da legislação ambiental, desenvolvimento e uso de diferentes sistemas de produção sustentáveis (NEVES, 2016). Neste cenário, merece destaque a produção de carne bovina, na qual o Brasil é um dos principais *players* no mercado, com aproximadamente 196,4 milhões de cabeças sendo o maior exportador deste produto (ABIEC, 2022). Sua pecuária é caracterizada por ter a maior parte de seus rebanhos criados em pastagens tropicais (ABDALLA FILHO *et al.*, 2019).

De acordo com estimativas do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), a área total de pastagens (naturais e plantadas) no Brasil é de 158,9 milhões de hectares, desta área, 17%, 16% e 24% apresentam estado de degradação leve, moderada e severa, respectivamente (LAPIG, 2021). As pastagens apresentam este estágio de degradação em decorrência do manejo inadequado da forrageira, ausência de aplicação de técnicas de conservação dos solos, e alterações climáticas (PEREIRA, *et al.*, 2013), o que constitui como principal fator limitante para que a pecuária de corte seja uma atividade ainda mais competitiva frente as demais atividades agrícolas.

No Maranhão, cerca de 46,6% do território está ocupado por áreas de pastagens, 38% compreendem as pastagens plantadas e o rebanho bovino é de 8,5 milhões de animais (IBGE, 2021). O Maranhão é caracterizado por duas épocas distintas, uma chuvosa e outra seca. A irregularidade na distribuição das chuvas e períodos de secas prolongados afetam a produção e qualidade de forragem, levando a sazonalidade da produção de animais em pastejo, reduzindo a qualidade dos produtos oriundos desses animais (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Na busca por minimizar esses efeitos na produção de carne bovina, são estudadas novas alternativas de produção de pasto com utilização de espécies forrageiras adaptadas às condições climáticas adversas do Maranhão. Dentre os sistemas alternativos, destaca-se o agrossilvipastoril, que visa sumarizar conhecimentos e práticas envolvidas na integração de árvores com pastagem na mesma área (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Entre as espécies forrageiras, para uso em sistemas integrados, o Capim Massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) apresenta elevado potencial produtivo (CARVALHO *et al.*, 2014), e tolerância ao

sombreamento, características desejáveis para sistemas integrados de produção agropecuária (COSTA *et al.*, 2016).

Ao decorrer do tempo, a extração dos nutrientes do solo por meio da produção de forragem, madeira entre outros serviços ambientais, se torna necessário a reposição desses nutrientes através da adubação. Com o uso dos sistemas integrados de produção, uma alternativa para diminuição de custos com adubação, especialmente a nitrogenada, é introduzir no sistema leguminosas fixadoras de nitrogênio. Uma das opções é uso da sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth), uma espécie que além de contribuir com a ciclagem de nutrientes do solo, possui valor econômico considerável quanto à sua utilização madeireira (físico-mecânicas), sendo utilizada para a produção de estacas, lenha e carvão (PAREYN, *et al.*, 2018).

A partir da utilização da prática de adubação de pastagens, têm-se alcançado maiores índices de desempenho dos animais em função da maior oferta de forragem, em quantidade e qualidade (SILVA *et al.*, 2013; DUPAS *et al.*, 2016). A adubação nitrogenada é fundamental para o aumento da produção de biomassa, principalmente quando se trata da recuperação de pastagens (SILVA *et al.*, 2013). Porém, o uso de fertilizantes nitrogenados em pastagens é pouco adotado devido a seu elevado custo, tornando-se necessário assegurar sua máxima eficiência e viabilidade econômica, por meio de doses adequadas (COSTA *et al.*, 2017).

Em concordância com o descrito, este trabalho baseia-se na hipótese que a adubação nitrogenada aumenta a produtividade do *Megathyrus maximus* cv. Massai e melhora os atributos do solo em sistemas agrosilvopastoris nas condições do Ecótono Amazônia-Cerrado. Desse modo, objetivou-se avaliar a biomassa e composição química do capim massai e os atributos do solo em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) sob doses de adubação nitrogenada no Ecótono Amazônia-Cerrado.

CAPÍTULO 1. REFERÊNCIAL TEÓRICO

1. SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL

Esse sistema é uma modalidade do sistema integrado de produção que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, numa mesma área, em consórcio, rotação ou sucessão, visando sinergia, produção sustentável, adequação ambiental e viabilidade econômica (BALBINO *et al.*, 2011). Despertou-se o interesse pela adoção destes sistemas principalmente pela necessidade de recuperação das áreas de pastagens degradadas e pelas restrições ambientais para abertura de novas áreas de vegetação nativa (KICHEL *et al.*, 2019).

Muitos são os benefícios do sistema agrossilvipastoril, entre eles destaca-se: promoção da ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (SALTON *et al.*, 2014); redução de custos de produção (RYSCHAWY *et al.*, 2012); fornecimento de diferentes serviços ecossistêmicos (DUBEUX *et al.*, 2017); redução da idade de abate dos animais, que com dietas apropriadas, diminui a emissão de metano por unidade de produto, contribuindo desta forma, para mitigar a emissão de gases de efeito estufa, além de contribuir para o sequestro de CO₂ atmosférico via fotossíntese (KICHEL *et al.*, 2019), aumentando a concentração de carbono no solo e levando a um uso mais eficiente da terra (DUBEUX JUNIOR *et al.*, 2017).

Outros benefícios advindos do consórcio entre árvores e gramíneas são a fixação biológica de nitrogênio (CHALK *et al.*, 2014) e diversificação da dieta dos ruminantes. Além disso, as árvores proporcionam bem-estar devido ao sombreamento, e podem servir como forragem para polinizadores, insetos fundamentais para a produção de alimentos (POTTS *et al.*, 2010).

Nestes sistemas, há interações ecológicas e econômicas entre os componentes (MAURÍCIO *et al.*, 2019), sendo assim, eles vêm recebendo atenção de produtores e pesquisadores por suas vantagens produtivas, caracterizados por uma maior diversificação no uso do solo (GIL *et al.*, 2015; WEIMANN *et al.*, 2017). Além disso, evitam o desmatamento, contribuem com segurança alimentar, desenvolvimento sustentável e levam em consideração um cenário de crescente demanda por alimento e energia, frente a uma disponibilidade cada vez menor de recursos naturais (LEMAIRE *et al.*, 2014).

Apesar destes sistemas apresentarem inúmeros benefícios, ainda são limitantes as informações sobre o manejo dos vários componentes específicos em sistemas

agrossilvipastoril (KICHEL *et al.*, 2019), tornando a decisão de adotá-lo extremamente complexa, sobretudo quando boa parte da informação difundida não contempla às de natureza econômica (COSTA *et al.*, 2014). Algumas lacunas devem ser preenchidas para que seja mais eficiente no uso dos recursos naturais, como elevado custo de implantação, falta de capacitação técnica e retorno financeiro gradativo (TRECENTI, 2016).

2. ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

Estudar os atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e a duração das alterações causadas por diferentes sistemas de manejo (FREITAS *et al.*, 2017). 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).

O manejo inadequado do solo nas atividades agropecuárias, tem causado de maneira acelerada o processo de degradação, alterando suas propriedades físicas e químicas, tendo como principal consequência a sua compactação (SILVA *et al.*, 2021). A compactação reduz a macroporosidade do solo, principalmente, pela pressão do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas, e o pisoteio de animais (LIMA, 2004).

O superpastejo e o alto tráfego de máquinas, são responsáveis pela deterioração acelerada das condições físicas do solo (CARVALHO *et al.*, 2017). A formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade do solo, elevando sua densidade, proporcionando maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ *et al.*, 2008).

Os atributos químicos dos solos são modificados com a extração da vegetação natural e o cultivo, de forma mais significativa na camada arável, em decorrência da aplicação de adubos e de operações agrícolas. Essas modificações dependem de vários fatores, como a cultura implantada e manejo, o tipo e a fertilidade do solo, o comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (MARCHIORI JUNIOR: MELO, 2000).

Os principais indicadores químicos usados para avaliar a qualidade do solo são o pH do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica e os níveis de nutrientes (CARDOSO *et al.*, 2013). De acordo com Kazmierczak (2018) os indicadores físicos mais usados nesta avaliação são a densidade, taxa de infiltração de água, macro, micro e porosidade total, condutividade hidráulica e resistência à penetração.

A avaliação dos atributos físicos e químicos do solo possibilitam o conhecimento de um determinado local e dos processos de transformação que este sofreu, contribuindo para determinar o manejo a ser adotado para a melhoria destas condições do solo (SILVA *et al.*, 2021).

3. ADUBAÇÃO NITROGENADA

O nitrogênio (N) é o elemento mais abundante na atmosfera terrestre (70%), é exigido em maior quantidade pela maioria das plantas, sendo responsável por inúmeras funções e constituindo uma molécula de grande importância para a vida na terra. Especialmente na planta, é um dos mais importantes constituintes de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e enzimas; promove o crescimento e dá a pigmentação verde das plantas (TAIZ *et al.*, 2013).

A disponibilidade de N, é um dos fatores reguladores dos processos de crescimento da planta, permitindo maior rapidez de formação das gemas axilares de iniciação de seus perfilhos e aumento da área foliar do pasto (WILMAN *et al.*, 1977; DENNIS; WOLEDGE, 1987), maximizando a produção de matéria seca, promovendo o crescimento dos constituintes celulares e incremento do vigor da rebrota e da produção de massa seca das plantas (BERNADI *et al.*, 2018; GALINDO *et al.*, 2018).

A adição de fontes de N é necessária para manutenção das quantidades corretas no solo, ocorrendo posteriormente a fixação do elemento por meio da ciclagem realizada pelos microrganismos (RIBEIRO *et al.*, 2019). Entre os fertilizantes nitrogenados usados no sistema de produção agropecuário, destacam-se o sulfato de amônia, a ureia e o nitrato de amônia. A ureia é mais usada no Brasil e no mundo, correspondendo a 60% dos fertilizantes comercializados, apresenta maior concentração de N (46%) e menor custo por unidade de nutriente (CHAGAS *et al.*, 2017).

No primeiro trimestre de 2022, intensificou-se o aumento nos valores deste insumo, em decorrência do conflito entre Rússia e a Ucrânia, que resultou em sanções econômicas impostas sobre a Rússia, um dos principais exportadores de fertilizantes para o Brasil. O Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), mostrou que a tonelada da ureia foi negociada à média de R\$ 5.844,70 no Brasil em 2022, valorização mensal de 36,8% e anual de 97,3% (OSAKI, 2022), o que dificultou ainda mais seu uso em adubação de pastagens.

A adubação mineral com N é rapidamente disponível para as plantas na solução do solo, mas o N que não é absorvido pelas raízes é perdido por lixiviação ou volatilização, ou incorporado à matéria orgânica do solo (BERNADI *et al.*, 2018). Os fatores que influenciam a lixiviação de N estão relacionados com manejo inadequado do solo, tais como: fontes e forma de aplicação, classe do solo e precipitação pluviométrica determinando o nível da eficiência de N aplicado (XU *et al.*, 2012).

A utilização da adubação nitrogenada em pastagens é uma maneira de intensificar os sistemas de produção animal, elevando a produtividade e consequentemente a taxa de lotação animal (TIECHER *et al.*, 2016). No entanto, a adubação com N pode ser reduzida em função de fatores ambientais e econômicos (ERASMO, 2017), desta forma, é preciso adotar diretrizes no planejamento da fertilização a ser utilizada conhecendo doses recomendadas (CRUZ *et al.*, 2006), evitando maiores gastos com insumos externos, na busca por maior produtividade.

Uma alternativa eficaz para a redução no gasto com adubos nitrogenados é a inserção de leguminosas com capacidade biológica de fixar N no sistema, estas apresentam menor relação C:N (ZANETTI, 2010), proporcionando maior mineralização e disponibilização do N no solo através da decomposição, elevando o teor de nitrogênio no sistema. Outros benefícios do uso de leguminosas em sistemas integrados são mencionados por Apolinário *et al.* (2015), que destacaram que há uma diversificação na renda do produtor por meio da produção de madeira, estaca, lenha e carvão.

4. CAPIM MASSAI (*MEGATHYRSUS MAXIMUS* CV. MASSAI)

O *Megathyrsus maximus* cv. Massai, é uma forrageira híbrida, resultado do cruzamento de *Panicum maximum* e *Panicum infestum*, sendo coletada na Tanzânia, continente africano, em 1969. Uma forrageira cespitosa, apresenta propagação e crescimento rápido, de folhas estreitas, floresce diversas vezes ao longo do ano, super indicada a sistemas mais intensivos de exploração, com adaptação a solos leves, como o cerrado e região amazônica (EMBRAPA, 2001).

O crescimento do capim Massai, se caracteriza por ser ereto e entouceirado, proporcionando uma maior incidência da luz solar e de ventilação em sua parte basal, favorecendo o controle de verminoses (KRAMBERCK, 2015). Apresenta baixo acúmulo de colmo, refletindo em seu baixo porte, medindo em média 60 cm de altura, esta característica favorece seu uso na produção de ruminantes (LOPES *et al.*, 2013).

O capim Massai tem elevado potencial produtivo (CARVALHO *et al.*, 2014), com média de acúmulo de forragem de 13 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ (ANDRADE, 2014), onde 80,4% correspondem a produção de folhas (JANK *et al.*, 2010). Além disso, o Massai tem acelerado perfilhamento com uma boa relação folha:colmo, além de resistência ao sombreamento, características desejáveis para sistemas integrados de produção agropecuária (COSTA *et al.*, 2016).

Ainda se destaca por apresentar superioridade na cobertura de solo quando comparado aos demais capins (ALENCAR *et al.*, 2009), elevada capacidade de emitir folhas e perfilhos, garantindo rápida rebrota após corte ou pastejo, e impede o crescimento de plantas invasoras na pastagem, é, portanto, uma cultivar promissora para uso em formação de pastagens (GURGEL *et al.*, 2017). A recomendação de altura para seu manejo na entrada sob lotação contínua é de 30-40 cm e sob lotação rotacionada de 45-55 cm, e saída é de 20-30 cm (TOWNSEND *et al.*, 2011). Apresenta teor de proteína bruta nas folhas de 12,5% e nos colmos de 8,5% (JANK *et al.*, 2010).

O capim Massai é muito utilizado nos sistemas de produção animal, por apresentar adaptação a solos bem drenados e exigentes a altas temperaturas (SANTIAGO-HERNÁNDEZ, 2016). Este capim apresenta ótima produção submetida a pastejo, sendo uma excelente alternativa para compor sistemas integrados (CARDOSO *et al.*, 2016). Além de ser resistente a ataque de cigarrinhas, e ao fogo, suporta muito bem solos com baixa fertilidade e solos com pH entre 4,9 até 6,8, sendo uma ótima opção para regiões de solos menos férteis (EMBRAPA, 2001).

A matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente ácido, nutrientes digestíveis totais, fibra em detergente neutro do capim-massai aos 120 dias na época de transição das águas, foram avaliados por Pompeo *et al.* (2019), esses autores encontraram valores de 68,6% de MS; 3,7% de PB; 47,2% de FDA; 49,8% de nutrientes digestíveis totais; 81,4% de FDN e 6% de lignina, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ABDALLA FILHO, A. L.; COSTA JUNIOR, G. T.; LIMA, P. M. T.; SOLTANGHEISI, A.; ABDALLA, A. L.; GHINI, R.; PICCOLO, M. C. Fiber fractions multielemental and isotopic composition of a tropical C4 grass grown under elevated atmospheric carbon dioxide. **Peer J**, v. 2019, n. 2, p. 1-15, 2019.

ABIEC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. Estatísticas. 2021. Disponível em: <<https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2022/>> acesso em: 30 de dez. de 2022.

ALENCAR, C.A.B.; OLIVEIRA, R.A.; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; CUNHA, F.F.; FIGUEIREDO, J.A.L.; LEAL, B.G.; CECON, P.R. Cobertura do solo e altura de capins cultivados sob pastejo com distintas lâminas de irrigação e estações anuais. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 13-121, 2009.

ANDRADE, N. Massa de forragem, composição química do capim-massai e comportamento ingestivo de ovinos durante a fase de implantação do eucalipto em sistema silvipastoril. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014, Jaboticabal, 2014.

APOLINÁRIO, V. X. O.; DUBEUX, J. C. B.; LIRA, M. A. Jr.; FERREIRA, R. L. C.; MELLO, A. C. L.; SANTOS, M. V. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MUIR, J. P. As leguminosas arbóreas fornecem madeira comercializável e adicionam nitrogênio em sistemas de silvopastura de clima quente. **Agronomy Journal**. 107:1915– 1921, 2015.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2011. 130 p.

BERNARDI, A.; SILVA, A.W.L.; BARETTA, D. Estudo metanalítico da resposta de gramíneas perenes de verão à adubação nitrogenada. **Arquivos Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.70, n.2, p. 545-553, 2018.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.

CARDOSO, S.; VOLPE, E.; MACEDO, M. C. M. Effect of nitrogen and lime on Massai grass subjected to intensive cutting. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 46, n. 1, p. 19-27, 2016.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R.M.; PEREIRA, R.V.G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: revisão. **Pubvet.**, v.11, n.10, p. 1036-1045, 2017.

CARVALHO, W.F.; MOURA, R.L.; SANTOS, M.S.; SILVA, S.F.; LEAL, T.M. Morfogênese e estrutura de capim-massai em diferentes sistemas de cultivo sob pastejo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 28-37, 2014.

CHAGAS, P. H. M.; GOUVEIA, G. C. C.; COSTA, G. G. S.; BARBOSA, W. F. S.; ALVES, A. C. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. **Journal of Neotropical Agriculture**, Cassilândia. v. 4, n. 2, p.76-80, 2017.

CHALK, M.P.; PEOPLES, M.B.; MCNEIL, A.M.; BODDEY, R.M.; UNKOVICH, M.J.; GARDENER, M.J.; SILVA, C.F.; CHEN, D. Methodologies for estimating nitrogen transfer between legumes and companion species in agro-ecosystems: a review of ¹⁵ N-enriched techniques. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 73, p. 10-21, 2014.

COSTA, E. M.; NÓBREGA, R. S. A.; FERREIRA, L. V. M; AMARAL, F. H. C.; NÓBREGA, J. C.A.; SILVA, A. F. T.; FIGUEIREDO, M. V. B. Growth and yield of the cowpea cultivar BRS Guariba inoculated with rhizobia strains in southwest Piauí. **Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3073-3084, 2014.

COSTA, N. L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; MAGALHÃES, J. A.; BENDAHAN, A. B. Adubação nitrogenada e consorciação de *Trachypogon plumosus* com *Stylosanthes capitata* cv. Lavradeiro sob diferentes densidades de semeadura. **Pubvet**, v. 11, n. 8, p. 808-814, 2017.

COSTA, N.L; PAULINO, V.T.; MAGALHÃES, J.A.; RODRIGUES, B.H.N.; SANTOS, F.J.S. Eficiência do nitrogênio, produção de forragem e morfogênese do capim massai sob adubação. **Nucleus**, v. 13, n. 2, p. 173-182, 2016.

COSTA, N.L; PAULINO, V.T.; MAGALHÃES, J.A.; RODRIGUES, B.H.N.; SANTOS, F.J.S. Eficiência do nitrogênio, produção de forragem e morfogênese do capim massai sob adubação. **Nucleus**, v. 13, n. 2, p. 173-182, 2016.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; GUERRERO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-casas (*Samanea inopinata* (Harms) Ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p.537-546, 2006.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; MUIR, J. P.; APOLINÁRIO, V. X. O.; NAIR, P. K. R.; LIRA, M. A.; SOLLENBERGER, L. E. Tree legumes: An underexploited resource in warm-climate silvopastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 8, p. 689-703, 2017.

DUPAS, E.; BUZETTI, S.; RABÊLO, F. H. S.; SARTO, A. L.; CHENG, N. C.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S.; DINALLI, R. P.; GAZOLA, R. N. Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen sources in the Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 10, n. 9, p. 1330-1338, 2016.

EMBRAPA. Capim-Massai (*Panicum maximum* cv Massai): alternativa para diversificação de pastagens. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande – MS, (**Comunicado Técnico 69**). p.8, 2001.

ERASMO, E. A. L.; GONÇALVES, R. C.; MATA, J. F.; OLIVEIRA, V. A.; BENÍCIO, L. P. F. Growth of *Brachiaria brizantha* planted at diferente densities and seasons in Santa Fé system with a culture of soybean. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.29, n.9, p.658-663, 2017.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. C.; FRARE J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P., Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, Marília-SP, v. 26, 1-2, p. 8-25, 2017.

GALINO, F. S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M. G. Z. Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-mombança em função do manejo da adubação nitrogenada. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2018.

GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adaption and development of integrated crop-livestock-forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 199, n. 3-4, p. 394-406, 2019.

GURGEL, A. L. C., DIFANTE, G. S., EMERENCIANO NETO, J. V., SOUZA, J. S., VERAS, E. L. L., COSTA, A. B. G., & ROBERTO, F. F. S. Estrutura do pasto e desempenho de ovinos em capim-massai na época seca em resposta ao manejo do período das águas. **Boletim de Indústria Animal**, v. 74, n. 2, p. 86-95, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Agropecuário: resultados definitivos. Rio de Janeiro, 2021.

JANK, L.; MARTUSCELLO, J. A.; EUCLIDES, V. B. P.; VALLE, C. B. do; RESENDE, M. S. Panicum maximum. In: FONSECA, D. M. da; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: UFV, p. 166 – 196, 2010.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008.

KAZMIERCZAK, R. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de preparo. 2018. 102f. – Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – PR, 2018.

KICHEL, A. N.; BUGENSTAB, D. J.; ZIMMER, A. H.; SOARES, C. O.; ALMEIDA, R. R. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o progresso do setor agropecuário brasileiro. In: In: BUGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, p. 49 – 58, 2019.

KRAMBECK, D. R. Efeito do clima e do fungo *Duddingtonia flagrans* sobre o desenvolvimento e migração vertical de larvas infectantes de helmintos parasitos

gastrintestinais de ovinos em pastagem de capim Massai. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop – MT, 2015, 40f.

LAMAIRE, G.; FRANSUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. F.; DEDIEU, B.; Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.

LAPIG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (UFG) em parceria com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE). Situação da qualidade das Pastagens no Brasil. Atlas Digital das Pastagens Brasileira. Disponível em: <<https://pastagem.org/atlas/map>> acesso em 26 de dez. de 2021.

LIMA, C. L. R. Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

LOPES, M. A.; FELTRE, K.; OLIVEIRA, A. D.; EVANGELISTA, A. R. Management and economic feasibility of nitroben fertilization in *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Archivos Latino americanos de Producción Animal**, v. 21, n. 3, p. 159-166, 2013.

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

MAURÍCIO, R. M.; RIBEIRO, R. S.; PACIULLO, D. S. C.; CANGUSSÚ, M. A.; MARGUETIO, E.; CHARÁ, J.; ESTRADA, M. X. F.; Silvopastoral Systems in Latin America for Biodiversity, Environmental, and Socioeconomic Improvements. In: LEMAIRE, G.; KRONBERG, S.; CARVALHO, P. C. F.; RECOUS, S. **Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality**. p. 287-297, 2019.

NEVES, M. F. **Doutor Agro**. São Paulo: Editora Gente, 2016.

OLIVEIRA, V. S.; MORAIS, J. A. S.; RANGEL, J. H. A.; NETO, J. A. S.; SANTOS, A. C. P.; VALENÇA, R. L.; FAGUNDES, J. L. Disponibilidade de forragem, resíduos pós-pastejo e comportamento ingestivo de bovinos de corte em sistema silvipastoril. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v.1 2, n 2, p. 223-232, 2016.

OSAKI, M. Gasto médio com fertilizantes para produção de grãos dobra em um ano. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opinioao-cepea/gasto-medio-com-fertilizantes-para-producao-de-graos-dobra-em-um-ano.aspx>> acesso em 25 de novembro de 2022.

PAREYN, F. G. C.; ARAUJO, E. de L.; DRUMOND, M. A. *Mimosa caesalpinifolia*: Sabiá. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). Espécies nativas da

flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste. Brasília, DF: MMA, p. 759-765, 2018.

PEREIRA, D. N.; OLIVEIRA, C.; BRITO, T. E.; AGOSTINI, J. A. F.; LIMA, P. F.; SILVA, A. V.; SANTOS, C. S.; BREGAGNOLI, M. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, Edição Especial n. 1, p. 49-53, 2013.

POMPEO, R.C.F.F., SANTOS, F.G.F., FONTINELE, R.G., SOUZA, H.A. Estrutura e composição químico-bromatológica do cultivar BRS Massai sob épocas de vedação e idade de utilização. **Technical Report**, 2019.

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O. AND KUNIN, W. E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, p. 345-353, 2010.

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.

RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L. A.; CARDOSO, P. H. S.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 913-923, 2019.

RYSCHAWY, J.; CHOISIS, N.; CHOISIS, J. P.; JOANNON, A.; GIBON, A. Mixed crop-livestock systems: Na economic and environmental-friendly way of farming? **Animal**, v. 6, n. 10, p. 1722-1730, 2012.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETONE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANTIAGO-HERNÁNDEZ, F.; LÓPEZ-ORTIZ, S.; ÁVILA-RESÉNDIZ, C.; JARILLO-RODRÍGUEZ, J.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, J.; GUERRERO-RODRÍGUEZ, J. D. (2016) Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. **Agroforestry Systems**, v. 90, n. 2, p. 339–349, 2016.

SILVA, D. R. G.; COSTA, K. A. P.; FAQUIM, V.; OLIVEIRA, I. P.; BERNADES, T. F. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação das características estruturais e produtivas do capim-marandu. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 184-191, 2013.

SILVA, E. R.; SILVA, S. A. S.; LISBOA, S. C. L.; FARIAS, V. D. S.; HAMID, S. S.; SANTOS, M. A. S. Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo em uma unidade de produção rural no município de Pacajá, Pará, Brasil. In: MATOS, R. R. S. da S., MACHADO, N. A. F., CORDEIRO, K. V. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TIECHER, D. D.; ROCHA, M. G. D.; PÖTTER, L.; SALVADOR, P. R.; BERGOLI, T. L.; MILANESI, G. D. Morphogenesis and structure of Tifton 85 cultivated in subtropical climate and fertilized with nitrogen. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v. 38, n. 4, p.389-393, 2016.

TOWNSEND, C. R.; SALMAN, A. K. D.; TEIXEIRA, C. A. D.; MARCOLAN, A. L.; RIBEIRO, M. A. G.; ALVES, J. R. Formação e manejo de pastagens. In: BRITO, L. G. (Ed.). Sistema de produção de leite para Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2011. p. 25-44 (Embrapa Rondônia. Sistemas de Produção, 34).

TRECENTI, R. ILPF – O que é a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. Celulose online, 20 de julho de 2016. Disponível em: <<https://www.celuloseonline.com.br/ilpf-ronaldo-trecenti-o-que-e-integracao-lavoura-pecuaria-floresta/http://www.sif.org.br/noticia/ilpf--o-que-e-integracao-lavoura-pecuaria-floresta>>. acesso em: 01 de abr. de 2021.

WEIMANN, C.; FARIAS, J. A.; DEPONTI, G. Viabilidade econômica do componente arbóreo de Sistema agrossilvipastoril comparado ao plantio florestal na pequena propriedade rural. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 429-436, 2017.

WILMAN, D.; DROUSHIOTIS, D.; MZAMANE, M. N., SHIM, J. S. The effect os interval between harvests and nitrogen application on inititation, emergende and longevity of leaves, longevity of tillers and dimensions and weights of leaves and ‘stem’ in Lolium. *J. Agricola Scientia*, v. 89, p. 65-79, 1977.

XU, G.; FAN, X.; MILLER, A.J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v.63, p.153-182, 2012.

ZANETTI, J.B. Identificação de genótipos de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schumach) de alta produção de biomassa com qualidade para fins energéticos, 73p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2010.

CAPÍTULO 2. ATRIBUTOS DO SOLO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.

RESUMO

Níveis adequados de suplementação nitrogenada podem proporcionar ganhos mútuos entre os componentes de sistemas agrossilvipastoris. Objetivou-se avaliar os efeitos da adubação nitrogenada nos atributos físicos e químicos do solo em sistema agrossilvipastoril no ecótono Amazônia-Cerrado. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Cada bloco de 1 ha, foi subdividido em quatro piquetes de 0,25 ha com 276 árvores de sabiá/ha. Os tratamentos foram 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio (N), as adubações foram com ureia. Foram utilizados novilhos anelados (*Bos taurus*), com peso corporal (PC) médio inicial de 200 ± 35 kg, segundo técnica put-and-take, utilizando dois animais testes por piquete, e animais de ajustes de acordo com a disponibilidade de forragem [2 kg matéria verde seca (MVS) kg PC⁻¹]. Foram realizadas duas coletas de solos (ago/2020 e julho/2021). A avaliação dos atributos do solo foi realizada em cinco distâncias (0, 3,75, 7,5, 11,25 e 15 m) perpendiculares às fileiras duplas de sabiá. Foram abertas minitrincheiras (30 x 30 x 30 cm) para coleta das amostras indeformadas nas profundidades de 0–10, 10–20, 20–30 cm, e analisadas a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Amostras deformadas nas mesmas profundidades no sentido perpendicular às minitrincheiras foram coletadas para análise química solo (P, K⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺). Utilizou-se o programa Proc Mixed do SAS e as médias de cada tratamento foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Ocorreram interações entre as distâncias da fileira de árvores e níveis de adubação para as variáveis macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Para microporosidade houve efeito de níveis de adubação e profundidade. O tratamento 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ sofreu diminuição na macroporosidade (0 m = 0,24 m⁻³ m⁻³ e 15 m = 0,22 m⁻³ m⁻³) e porosidade total (0 m = 0,62 m⁻³ m⁻³ e 15 m = 0,58 m⁻³ m⁻³) a medida em que se distanciou das árvores. O tratamento 100 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou menor macroporosidade (0,18 m⁻³ m⁻³) e porosidade total (0,54 m⁻³ m⁻³) na distância 0 m. O tratamento 200 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou maior macroporosidade e porosidade total (médias de 0,26 e 0,60 respectivamente). O tratamento 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou menor porosidade total com média de 0,57 m⁻³ m⁻³. A microporosidade foi menor nos tratamentos 200 e 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e maior na profundidade 0-10 cm. Para os atributos químicos houve interações entre ano, níveis de adubação e distâncias das fileiras de árvores. O ano 2020 apresentou menores concentrações de P, Mg²⁺ e K⁺ na interação de fertilização e distâncias. O ano de 2020 apresentou maiores concentrações de P do que 2021 para todos os tratamentos. Mg foi menor em 2020 em todos os tratamentos, com exceção do 400 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ que nas distâncias 7,5, 11,25 e 15 m não diferiram entre os anos. O K apresentou menores valores no tratamento 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ em todas as distâncias no ano de 2020. No ano de 2021 foi observado maiores valores de soma de bases em todos os tratamentos. A adubação nitrogenada influencia os atributos do solo em sistema ILPF, proporcionando índices de porosidade adequadas para infiltração de água e trocas gasosas. Maiores concentrações de N estimulam a absorção do P pelas plantas, diminuindo a concentração deste macronutriente no solo, enquanto K e Mg são depositados lentamente no solo com a decomposição da serapilheira, sendo observados maiores concentrações com o passar do tempo.

Palavras-Chaves: fertilizante nitrogenado, macroporosidade, microporosidade, porosidade total.

CHAPTER 2. SOIL ATTRIBUTES IN AGROSSILVIPASTORAL SYSTEM UNDER NITROGEN FERTILIZATION IN THE AMAZON-CERRADO ECOTONE.

ABSTRACT

Adequate levels of nitrogen supplementation can provide mutual gains between the components of an agrosilvopastoral system. The objective was to evaluate the effects of nitrogen fertilization on physical and chemical soil attributes in an agrosilvopastoral system in the Amazônia-Cerrado ecotone. The experimental design was a randomized complete block design with three replicates and four treatments. Each block of 1 ha was subdivided into four paddocks of 0.25 ha with 276 thrush trees/ha. The treatments were 0, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹ year⁻¹ of nitrogen (N) fertilization rates, in the form of urea. Beef steers (*Bos taurus*) with an average initial body weight (BW) of 200 ± 35 kg were used, according to the put-and-take technique, using two tester animals per paddock, and adjusting the stocking rate according to forage availability [2 kg dry green matter (MVS) kg PC⁻¹]. Two soil samplings were carried out (Aug/2020 and July/2021). The evaluation of soil attributes was carried out at five distances (0, 3.75, 7.5, 11.25 and 15 m) perpendicular to the double rows of thrush. Mini trenches (30 x 30 x 30 cm) were opened to collect undisturbed samples at depths of 0–10, 10–20, 20–30 cm, and density, macroporosity, microporosity and total porosity were analyzed. Deformed samples at the same depths perpendicular to the mini trenches were collected for soil chemical analysis (P, K⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺). The SAS Proc Mixed program was used to analyze the data, and the means of each treatment were compared using Tukey's test, at a 5% probability level. There were interactions between tree row distances and fertilization levels for macroporosity, total porosity and soil density variables. For microporosity there was effect of fertilization levels and depth. The treatment 0 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ had a decrease in macroporosity (0 m = 0.24 m⁻³ m⁻³ and 15 m = 0.22 m⁻³ m⁻³) and total porosity (0 m = 0.62 m⁻³ m⁻³ and 15 m = 0.58 m⁻³ m⁻³) as the distance from the trees increased. The 100 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ treatment showed lower macroporosity (0.18 m⁻³ m⁻³) and total porosity (0.54 m⁻³ m⁻³) at the 0 m distance. The 200 kg N ha⁻¹ yr⁻¹ treatment showed higher macroporosity and total porosity (means of 0.26 and 0.60 respectively). The 400 kg N ha⁻¹ year⁻¹ treatment showed lower total porosity with an average of 0.57 m⁻³ m⁻³. The microporosity was lower in the treatments 200 and 400 kg of N ha⁻¹ yr⁻¹ and higher in the depth 0-10 cm. For the chemical attributes there were interactions between year, fertilization levels and distances from the rows of trees. The year 2020 showed lower concentrations of P, Mg²⁺ and K⁺ in the interaction of fertilization and distances. The year 2020 had higher P concentrations than 2021 for all treatments. Mg was lower in 2020 in all treatments, with the exception of 400 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ which at distances 7.5, 11.25 and 15 m did not differ between years. K showed lower values in the 0 kg of N ha⁻¹ year⁻¹ treatment at all distances in the year 2020. In the year 2021, higher base sum values were observed in all treatments. Nitrogen fertilization influences soil attributes in an ILPF system, providing adequate porosity indexes for water infiltration and gas exchange. Higher concentrations of N stimulate the absorption of P by plants, decreasing the concentration of this macronutrient in the soil, while K and Mg are deposited slowly in the soil with litter decomposition, with higher concentrations being observed over time.

Keywords: nitrogen fertilizer, macroporosity, microporosity, total porosity.

1. INTRODUÇÃO

A região do trópico úmido possui características de clima e solo peculiares que constituem uma barreira para a inserção de sistemas agrícolas sustentáveis. A região apresenta altos índices pluviométricos e elevadas temperaturas, e os solos são em grande parte de baixa fertilidade natural, com cerca de 60% derivados de rochas sedimentares clásticas (AGUIAR *et al.*, 2010).

Avaliar os atributos do solo ao longo do tempo permite quantificar a magnitude e a duração das alterações causadas por diferentes sistemas de manejo (FREITAS *et al.*, 2017). Por serem sensíveis, esses atributos são importantes para estabelecer os níveis de degradação e/ou melhoria da qualidade do solo em relação a um determinado sistema de manejo (REICHERT *et al.*, 2009).

Inadequadas práticas de manejo do solo nas atividades agropecuárias, tem como resultado a aceleração do processo de degradação, alterando suas propriedades físicas e químicas, provocando principalmente a compactação (SILVA *et al.*, 2021), reduzindo a macroporosidade do solo, em consequência da pressão do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas e o pisoteio de animais (LIMA, 2004). A formação de camadas compactadas reduz a atividade biológica e a macroporosidade do solo, elevando sua densidade, proporcionando maior resistência física à expansão radicular (JIMENEZ *et al.*, 2008).

Ao decorrer do tempo, mediante extração dos nutrientes do solo por meio da produção de forragem, madeira, entre outros serviços ambientais, torna-se necessário a reposição de nutrientes do solo através da adubação. A partir da utilização da prática de adubação de pastagens, têm-se alcançado maiores índices de desempenho dos animais em função da maior oferta de forragem, em quantidade e qualidade (DUPAS *et al.*, 2016).

No entanto, o uso de fertilizantes nitrogenados em pastagens onera os custos de produção e estão atrelados a impactos ambientais por meio da volatilização da ureia, lixiviação de nitrato e emissão de óxido nitroso, tornando-se necessário assegurar sua máxima eficiência, por meio de doses adequadas (COSTA *et al.*, 2017).

Os atributos químicos dos solos são modificados com a extração da vegetação natural e o cultivo, de forma mais significativa na camada arável, em decorrência da aplicação de adubos e de operações agrícolas. Essas modificações dependem de vários fatores, como a cultura implantada e manejo, o tipo e a fertilidade do solo, o

comportamento físico-químico de cada nutriente e suas interações com o meio (MARCHIORI JUNIOR; MELO, 2000).

Os principais indicadores químicos usados para avaliar a qualidade do solo são o pH do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica e os níveis de nutrientes (CARDOSO *et al.*, 2013). De acordo com Kazmierczak (2018), os indicadores físicos mais usados nesta avaliação são a densidade, taxa de infiltração de água, macro, micro, porosidade total, condutividade hidráulica e resistência à penetração.

A avaliação dos atributos físicos e químicos do solo possibilitam o conhecimento de um determinado local e dos processos de transformação que este sofreu, contribuindo para determinar o manejo a ser adotado para a melhoria destas condições do solo (SILVA *et al.*, 2021). O monitoramento desses indicadores pode ser usado como critério para detectar modificações mais impactantes. Essas informações contribuem para o desenvolvimento de sistemas de manejos mais sustentáveis.

Uma estratégia para incrementar a eficiência do uso de nutrientes em solos arenosos do trópico úmido pode ser por meio da melhoria do ambiente edáfico, com adição de leguminosas. Uma proposta viável a essa estratégia, é o sistema agrossilvipastoril, que consorcia espécies de árvores ou arbustos em pastagens com a presença de animais, diversificando a exploração de variados serviços ecossistêmicos e a fonte de renda (CARDOSO *et al.*, 2013).

As leguminosas utilizadas no sistema agrossilvipastoril, contribuem com o aporte de N, por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), e carbono (C) no solo (SIQUEIRA *et al.*, 2014). Dentre as espécies com potencial para serem utilizadas nestes sistemas, aponta-se a *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., uma leguminosa arbórea, endêmica do Brasil, muito utilizada na região nordeste, pois contribui com a ciclagem de nutrientes do solo e possui valor econômico considerável quanto à sua utilização madeireira para a produção de estacas, lenha e carvão (PAREYN *et al.*, 2018), além de ser adaptada ao consórcio com o capim Massai.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da adubação nitrogenada nos atributos físicos e químicos do solo em sistema agrossilvipastoril no ecótono Amazônia-Cerrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e Histórico da Área Experimental

O experimento foi conduzido na Unidade de Referência Tecnológica (URT) em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), unidade Cocais, no município de Pindaré Mirim - MA, Brasil, localizada entre as coordenadas geográficas 3° 46' 9.12'' S de latitude, 45° 30' 1.44'' W de longitude e 33 m ao nível do mar, com relevo suave-ondulado (inclinação < 5%).

O sistema ILPF foi implantado no ano de 2017, realizou-se a semeadura do capim Massai em consórcio com o plantio de milho, no mês de janeiro e em seguida, a leguminosa sabiá foi implantada através do transplante de mudas. As adubações nitrogenadas foram realizadas em 2020 em quatro parcelas, entre os meses março a junho (período de chuvas) (Figura 1). A primeira coleta de solos foi feita em agosto de 2020. As parcelas experimentais foram fertilizadas novamente de março a junho de 2021, seguindo o mesmo protocolo. As amostras de solo foram coletadas novamente em julho de 2021.

Segundo a classificação de Köppen (Peel *et al.* 2007), o clima local é do tipo Aw (quente e úmido) caracterizado por apresentar um clima tropical chuvoso com nítida estação seca e com uma média de precipitação de 2.100 mm ano⁻¹. Com temperatura mínima de 23 °C, máxima de 37 °C e temperatura média de aproximadamente 27 °C (Inmet 2021).

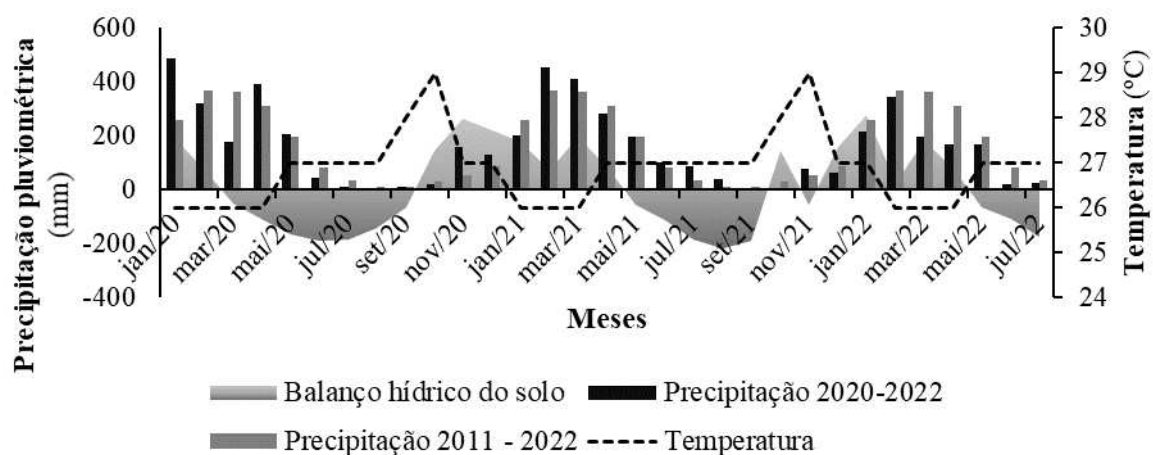


Figura 1 - Temperatura (°C), balanço hídrico do solo (mm) e precipitação mensal (mm), do período experimental (jan/2020 a jul/2022), no município de Pindaré-Mirim, MA.

O solo do local é classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico típico (Araújo *et al.* 2019), recoberto originalmente por vegetação de Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas, com predomínio de palmeira Babaçu (*Atallea speciosa* Mart.). Antes do início das avaliações, foi realizado análise física e química do solo de acordo com Texeira *et al.* (2017) encontrando os seguintes resultados apresentados na Tabela 1 e 2.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo na profundidade de 0-10, 10-20, 20-30 cm, em novembro de 2019.

Profundidades (cm)	MO g kg ⁻¹	pH CaCl	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺	CTC	V
								(mmol _c dm ⁻³)				%
0 – 10	4,0	5,1	5,6	0,5	2,0	1,0	0,9	4,4	0,0	2,0	6,4	68
10 – 20	3,0	4,8	4,0	0,4	3,0	1,0	0,7	5,1	0,0	1,7	6,8	75
20 – 30	3,0	4,2	2,3	0,3	0,2	2,0	0,7	5,0	0,3	1,7	7,0	71

P: fósforo (Mehlich-I); K⁺: potássio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; Na⁺:sódio; Al³⁺: alumínio; H⁺: hidrogênio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.

Tabela 2 - Atributos físicos da área experimental em novembro de 2019.

Profundidades (cm)	AG (2 – 0,02)	AF (0,02 – 0,05)	Silte (0,05 – 0,002)	Argila (<0,002)	S/A	Textura
		(mm)				
0 – 10	3	78	10	10	1	Franco arenoso
10 – 20	3	75	8	14	0,5	Franco arenoso
20 – 30	3	75	9	14	0,6	Franco arenoso

AG: areia grossa; AF: areia fina; S/A: relação silte argila.

A área experimental com sistema ILPF possui 3 ha, com média de 35 palmeiras de babaçu distribuídas aleatoriamente por hectare, foi implantada no ano de 2017 em substituição à pastagem degradada de capim-marandú. O plantio da sábia foi realizado em mudas, que foram transplantadas com 50 cm de altura, utilizando-se um espaçamento de 30 × 3 × 2 m entre fileiras duplas (Figura 2), e uma densidade inicial de 276 árvores por hectare. O manejo adotado na sábia foi por meio de podas em 2018 e 2019, retirando os galhos finos e distorcidos, permanecendo de dois a três fustes (ramificação da árvores a

partir de 25 cm do solo) por plantas com objetivo de deixá-los com estaca de maior qualidade.

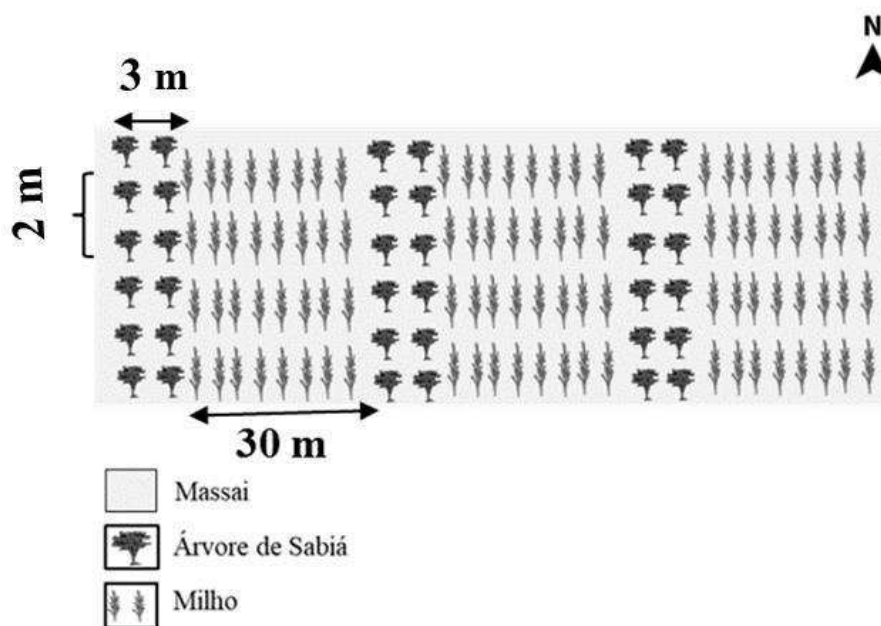


Figura 2 – Arranjo experimental da sabiá, na Unidade de Referência Tecnológica de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, da Embrapa Cocais, Pindaré-Mirim, Brasil.

O plantio do milho (*Zea mays* L.) e do capim massai foi feito em consórcio, com uma safra de milho híbrido KWS 9304, juntamente com a formação do pasto de massai. Foi utilizada 1 t ha^{-1} de calcário magnesiano para correção de acordo com as necessidades do cultivo do milho, após 15 dias da semeadura foi aplicado uma subdosagem dos herbicidas Atrazina e Nicosulfuron (Dimethylnicotinamide) para atrasar o desenvolvimento do pasto, que associado ao sombreamento do milho diminui a competição por nutrientes do solo. A adubação da cultura do milho foi realizada com base na análise de solo feita em 2017, no mesmo ano de plantio, da seguinte maneira: adubação de plantio = 400 kg ha^{-1} da fórmula (04 - 30 - 10 + Zn); 1ª adubação de cobertura = 200 kg ha^{-1} da fórmula (36 - 00 - 30), após 10 dias da emergência do milho; e a 2ª adubação de cobertura = 200 kg ha^{-1} da fórmula (36 - 00 - 30), 20 dias após a primeira adubação de cobertura.

2.2 Descrição e Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em blocos inteiramente casualizados com três repetições, cada bloco tinha uma área de 1 ha que foi subdividida em quatro piquetes de 0,25 ha. O stand inicial de 51 árvores de sabiá foi disposto em fileira dupla de $30 \times 3 \times 2$

m. Cada piquete foi correspondente a um tratamento da combinação do uso da leguminosa, e níveis de adubação nitrogenada, resultando em quatro tratamentos: (0, 100, 200 e 400 kg N ha⁻¹ano⁻¹) de acordo com a Figura 3. As adubações nitrogenadas foram realizadas em toda área do piquete, com ureia (45% de N), e parceladas em quatro doses iguais no período chuvoso no ano de 2020, nos meses de março, abril, maio e junho, e repetidas no mesmo período no ano de 2021. O adubo foi distribuído manualmente após cada intervalo de 28 dias.

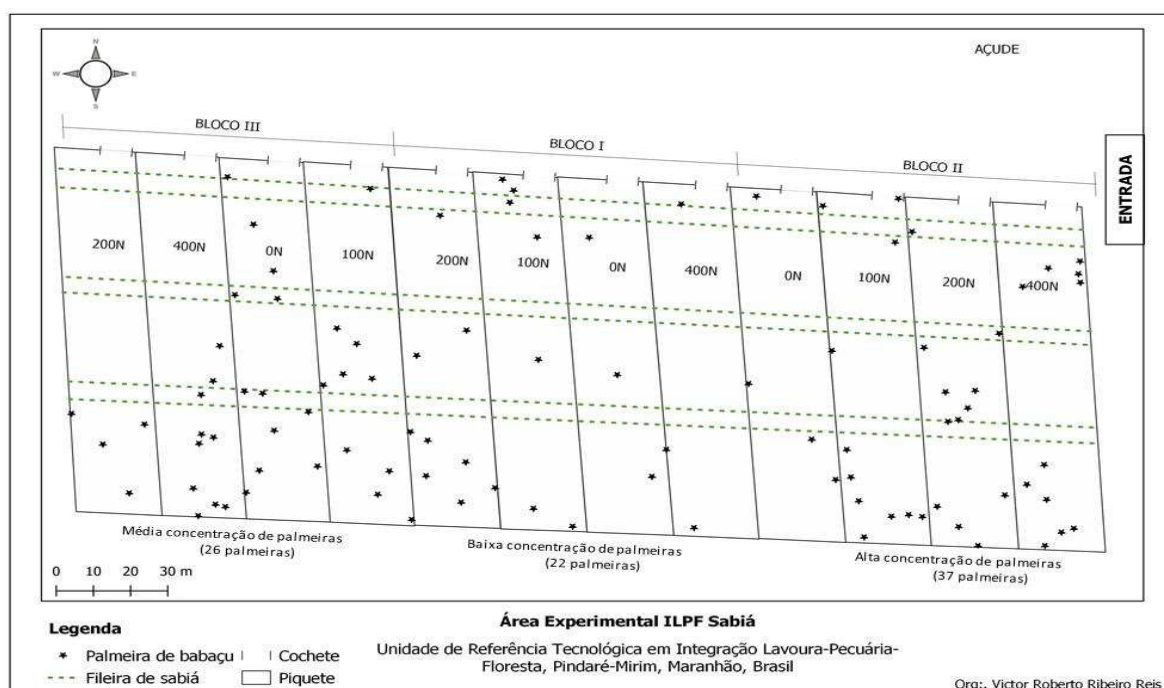


Figura 3. Croqui da área experimental, da Unidade de Referência Tecnológica de integração Lavoura-Pecuária-Floresta em Pindaré-Mirim, MA.

Neste período os pastos foram manejados através de lotação intermitente, com carga variável “put and take”, conforme metodologia proposta por Mott e Lucas (1952). O ajuste dos animais nos piquetes foi adaptado conforme recomendação de Sollenberger *et al.* (2005), ajustando a oferta de forragem por meio da relação direta entre massa de forragem verde seca (MFVS) e o peso corporal (PC).

Os animais do experimento eram anelados, machos não castrados, com peso médio inicial de 200 ± 35 kg de PC, que foram distribuídos e manejados de acordo com a oferta de forragem pretendida de 2 MFVS kg PC⁻¹. Foram utilizados dois animais testes por piquete e ajustes de acordo com a disponibilidade de forragem foram realizados. A pesagem dos animais foi realizada a cada 28 dias após jejum prévio de 12 horas. Controle

de endo e ectoparasitas a cada três meses. Tanto o sal mineral quanto a água eram disponibilizados para consumo “*ad libitum*” em todos os piquetes.

2.3 Coleta e análise de solo

A coleta de solos foi realizada em um transecto perpendicular as fileiras duplas de sabiá na direção sul, com 15 m de comprimento, dividido em cinco pontos equidistantes entre si (Figura 4) em uma faixa amostral da fileira dupla de sabiá para o centro da parcela, cujas posições são amostradas no esquema “meio-dos-meios”: P1 (0m), P2 (3,75 m), P3 (7,5 m), P4 (11,25 m) e P5 (15 m), adaptado da metodologia (PEZZOPANE *et al.*, 2019) conforme descritos na Figura 4. O ponto 1 (P1) refere-se a amostragem feita a 0 m da base da planta, no sentido da linha de plantio do sabiá.

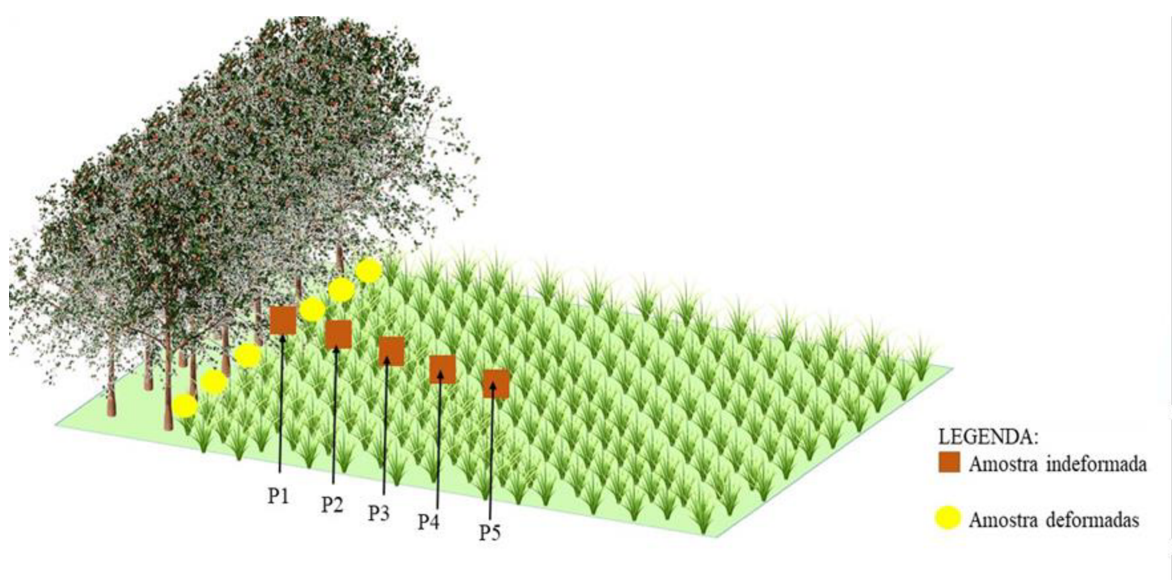


Figura 4. Representatividade dos pontos de coleta de solo.

Em cada um dos pontos no transecto, foram abertas mini trincheiras de 30 x 30 x 30 cm para coletadas amostras indeformadas de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, utilizando anéis volumétricos de aço inox com 100 cm³. Foram amostradas, em cada profundidade, em uma das paredes da trincheira. Essas amostras foram utilizadas para a determinação dos atributos físicos do solo: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total conforme Teixeira *et al.* (2017) no Laboratório de Física do Solo da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, em São Luís.

Para os atributos químicos do solo, foram coletadas amostras deformadas utilizando o trado holandês nas mesmas distâncias das trincheiras, sendo estas coletadas em 6 pontos, 3 para cada lado da trincheira conforme descritos na Figura 4, considerando a

distância de 1 metro da trincheira e entre os pontos de coleta, estas coletas foram repetidas em todas as distâncias (P1, P2, P3, P4 e P5). Em cada ponto foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, e depois feito a composta, obtendo apenas uma amostra de cada profundidade, sendo repetidas em cada distância. Foram determinados os atributos químicos: Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) trocáveis, Fósforo (P) disponível, e Potássio (K^+) trocáveis (TEIXEIRA *et al.*, 2017) no Laboratório de Química do Solo da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, em São Luís.

2.4 Análises Estatísticas

Para todos os dados, foram testadas as premissas para a análise de variância, sendo normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância dos erros (teste de Bartlett). Posteriormente, foram realizadas análises de variância, utilizando o procedimento Proc Mixed do SAS® OnDemand for Academics. Quando o teste F foi significativo ($P < 0,05$), utilizou-se o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para identificar as diferenças significativas. Para as variáveis físicas, foram considerados como efeitos fixos os níveis de adubação, distância das fileiras, profundidade e suas interações. O bloco e o fator ano foram considerados como aleatórios. Para as variáveis químicas, foram considerados como efeitos fixos os níveis de adubação, ano de avaliação (como medida repetida), distância, profundidade e suas interações. O bloco foi considerado como aleatório.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Atributos físicos do solo

Ocorreram interações entre as distâncias da fileira de árvores e níveis de adubação nitrogenada para macroporosidade, porosidade total e densidade do solo. Para microporosidade foram observados efeitos entre os níveis de adubação e profundidades.

Na distância rente às fileiras de árvores (0 m), observou-se menor macroporosidade no tratamento 100 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, com inferioridade de 28% em relação aos demais tratamentos, havendo um aumento desta variável a medida em que se distancia da fileira de árvores, não diferindo ($P > 0,05$) nas distâncias 11,25 e 15 m (Tabela 3). A menor ocorrência de macroporos neste tratamento na distância 0 m pode estar relacionada a menor dosagem de adubação recebida, havendo uma competição entre às árvores e as forrageiras pelo nitrogênio neste ponto, reduzindo assim o desenvolvimento radicular das gramíneas e formação de palhada. Loss *et al.* (2011) observaram que a presença da palha e das raízes das forrageiras aumentam de forma significativa a aeração e infiltração de água no solo.

Em contrapartida ao mencionado no parágrafo anterior, o tratamento 0 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ na distância 0 m, assemelha-se aos tratamentos 200 e 400 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, isto pode estar relacionado a menor permanência dos animais no tratamento 0 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, onde os intervalos de tempo entre um pastejo e outro neste tratamento eram maiores comparado aos demais tratamentos, em decorrência de um processo mais lento de recuperação pós-pastejo da forragem, o que diminui o efeito de compactação por meio do pisoteio animal, enquanto que no tratamento 100 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ os animais permaneciam por mais tempo em pastejo, a adubação permitia recuperação mais rápida da forragem em comparação ao tratamento que não recebeu adubação.

No tratamento 0 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ houve uma redução da macroporosidade à medida em que aumentou-se a distância das fileiras das árvores, variando de 0,21 a 0,24 m³ m⁻³, entretanto não diferindo ($P > 0,05$) entre as distâncias 11,25 e 15 m (Tabela 3). A serapilheira é um dos fatores que contribui para o aumento do teor da matéria orgânica do solo e formação de macroagregados. Silva *et al.* (2000) afirmam que maiores valores de índice de floculação e de agregados estão relacionados com os maiores teores de matéria orgânica do solo, sendo assim, este comportamento no tratamento 0 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ pode ser referente à diminuição da concentração de serapilheira nos pontos distantes das

árvores. Foi possível perceber *in loco* que as maiores deposições de serapilheira ocorriam mais próximo das árvores, corroborando com Silva (2015) que também identificou maior deposição de serapilheira de sabiá quanto mais próximo da fileira dupla das árvores. Esse comportamento de deposição é característico da arquitetura da espécie arbustiva arbórea, que ao depender da altura, deposita suas folhas mais próximo da base das fileiras.

A macroporosidade nos tratamentos 200 e 400 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ se assemelham aos demais tratamentos apenas nas distâncias 0 e 3,75 m, ou seja, mais próximos às fileiras de árvores, e a medida em que se afasta da fileira de árvores esta variável aumenta, diferindo ($P > 0,05$) dos outros tratamentos (Tabela 3). Nas regiões próximos às árvores pode ocorrer competição por água e nutrientes entre as forrageiras e o componente arbóreo, a competição por água limita o crescimento do dossel e das raízes da planta e reduz a eficiência fotossintética (VARGAS *et al.*, 2006), isso explica o aumento da macroporosidade nos pontos mais distantes das árvores, onde a ocorrência de formação de perfilhos e desenvolvimento radicular da forrageira tende a ser maior pela diminuição na competição por água e nutriente.

Martins *et. Al.* (2022), verificaram que quanto maior o teor de adubação nitrogenada aplicada na forragem, maior foi sua resposta em números de perfilhos, o que proporciona uma maior cobertura do solo, diminuindo os riscos de degradação por meio de processos erosivos em função do maior desenvolvimento radicular. Ferreira *et. Al.* (2018), ao avaliarem os atributos físicos do solo em sistemas integrados, encontraram aumento da macroporosidade em tratamentos com maiores doses de nitrogênio aplicado, e explica que isso aconteceu em resposta a um maior crescimento das raízes das forrageiras, estimuladas pela disponibilidade de N, essas raízes ao serem decompostas resultam em galerias de aeração do solo contabilizados como macroporos.

A macroporosidade do solo nas diferentes distâncias e níveis de adubação não foi afetada negativamente ao ponto de reduzir a um nível crítico, uma vez que os resultados estão acima de 0,14 m⁻³ m⁻³, considerado adequado para as trocas gasosas e líquidas entre o ambiente externo e o solo (REICHERT *et al.*, 2007). Esses resultados indicam que a capacidade de suporte do pasto foi respeitada, não ocorrendo superpastejo.

Tabela 3. Interação adubação nitrogenada $\times$ distâncias da fileira de árvores para macroporosidade do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.

Distância da fileira de árvores (m)	Adubação nitrogenada (kg N ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
	0	100	200	400
	(m ⁻³ m ⁻³)			
0	0,24 Aba	0,18 Bb	0,25 Abc	0,26 Aa
3,75	0,23 Aa	0,19 Aab	0,24 Ac	0,25 Aa
7,5	0,22 BCa	0,20 Cab	0,27 ABabc	0,31 Aa
11,25	0,21 Ba	0,24 Ba	0,32 Aa	0,26 Aba
15	0,22 Ba	0,23 Bab	0,31 Aab	0,25 Aba

Erro padrão da média: 0,02; Valor-P: 0,0036. Mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem significativamente ($P > 0,05$).

Houve diferença significativa ($P > 0,05$) para porosidade total no tratamento 100 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Na distância rente as árvores, observou-se menor porosidade total em comparação aos demais tratamentos, havendo um aumento desta variável a medida em que a distância das árvores aumentou (Tabela 4). Um comportamento semelhante foi observado ao considerar a interação entre adubação nitrogenada e distância da fileira de árvores para a variável macroporosidade neste tratamento (Tabela 3), assim, os valores de macroporosidade apresentou influência direta ao se avaliar a porosidade total, e por consequência maior densidade do solo, o espaço poroso ocupado varia na razão inversa da densidade do solo (LEPSCH, 2011), quanto maior a densidade, menor a porosidade ou vice-versa.

A menor ocorrência de poros na distância 0 m do tratamento 100 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ deve ser referente a dosagem de adubação que foi menor, aumentando a competição entre às árvores e as forrageiras pelo nitrogênio neste ponto, não permitindo assim um maior desenvolvimento radicular pelas forrageiras, as raízes podem atuar como agentes recuperadores da física do solo, seu maior desenvolvimento permite a formação de poros reduzindo a compactação. Alterações nas propriedades físicas do solo, como a densidade, afetam indiretamente o crescimento das plantas, modificando a resistência que o solo fornece ao crescimento das raízes (PEDROTTI & MELLO JÚNIOR, 2009).

No tratamento 0 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ houve uma redução da porosidade total à medida em que aumenta a distância das fileiras das árvores, se assemelhando ao tratamento 400 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ nas distâncias 11,25 e 15 m (Tabela 4). O comportamento deste

atributo no tratamento $0 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, pode estar relacionado com a menor presença de matéria orgânica nos pontos mais distantes da fileira das árvores, em consequência à menor deposição de serapilheira e concentração de restos vegetais das árvores nessa região. O comportamento semelhante no tratamento $400 \text{ N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ possivelmente está relacionado à maior lotação animal, e maior tempo de permanência dos animais em pastejo, onde o maior nível de adubação resultou em recuperação mais rápida do capim após a desfolha pelo consumo animal. Carneiro *et al.* (2010) afirmam que a maior carga animal eleva o efeito do pisoteio, contribuindo para compactação do solo, em consequência de aumento da densidade e redução dos macroporos.

Nas distâncias 11,25 e 15 m do tratamento $400 \text{ Kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, observou-se menores valores de porosidade total comparado às demais distâncias neste tratamento, apesar de maior dosagem de N (Tabela 4). A permanência dos animais por mais tempo em pastejo e a maior taxa de lotação, pode ter influenciado este resultado, além da ação de compactação por meio do pisoteio, há também uma redução na deposição da serapilheira pela forrageira neste tratamento, onde o aumento da taxa de lotação animal, aumenta também o consumo das folhas reduzindo a produção de material morto que seria depositado no solo. Corroborando com Souza *et al.* (2009), que ao avaliarem diferentes intensidades de pastejo e sua relação com a deposição de resíduos animais e vegetais, verificaram que quanto maior a intensidade de pastejo menor foi a deposição de palhada produzida pela gramínea sobre o solo, e maior compactação do solo pelo pisoteio animal.

Tabela 4. Interação adubação nitrogenada x distâncias da fileira de árvores para porosidade total do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta sob diferentes níveis de adubação nitrogenada.

Distância da fileira de árvores (m)	Adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)			
	0	100	200	400
	(m ⁻³ m ⁻³)			
0	0,62 Aa	0,54 Cb	0,60 Aba	0,57 BCa
3,75	0,59 Aab	0,56 Aab	0,58 Aa	0,59 Aa
7,5	0,59 Aab	0,57 Aab	0,60 Aa	0,59 Aa
11,25	0,58 Bb	0,60 Aba	0,62 Aa	0,57 Ba
15	0,58 Bb	0,58 ABab	0,62 Aa	0,56 Ba

Erro padrão da média: 0,02; Valor-*P* = 0,0002. Mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem significativamente (*P* > 0,05).

Houve diferença significativa ($P > 0,05$) para a microporosidade para efeito dos níveis de adubação nitrogenada, apresentando maiores valores os tratamentos 0 e 100 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,37 m⁻³ m⁻³ e 0,36 m⁻³ m⁻³, respectivamente), enquanto os tratamentos 200 e 400 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (0,33 m⁻³ m⁻³ e 0,31 m⁻³ m⁻³ respectivamente) apresentaram valores menores de microporosidade (Figura 5).

Maior microporosidade resulta em menor macroporosidade, o volume dos poros quase sempre é inversamente proporcional ao diâmetro das partículas (RANZANI, 1969). Sendo assim, a diminuição de microporos nos tratamentos com maiores níveis de adubação aplicado (200 e 400 Kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) resultou de formação de macroagregados, que pode ter ocorrido em função do maior desenvolvimento radicular das gramíneas e dejetos dos animais que elevam os teores de matéria orgânica presente no solo.

As raízes fasciculadas das gramíneas, que são densas e bem distribuídas no solo tanto em superfície quanto em profundidade, favorecem a formação de agregados maiores e mais estáveis nas pastagens (TORRES *et al.*, 2013). Yu *et al.* (2018), onde constataram que a densidade de raízes no sistema apresentou correlação positiva com o atributo porosidade do solo.

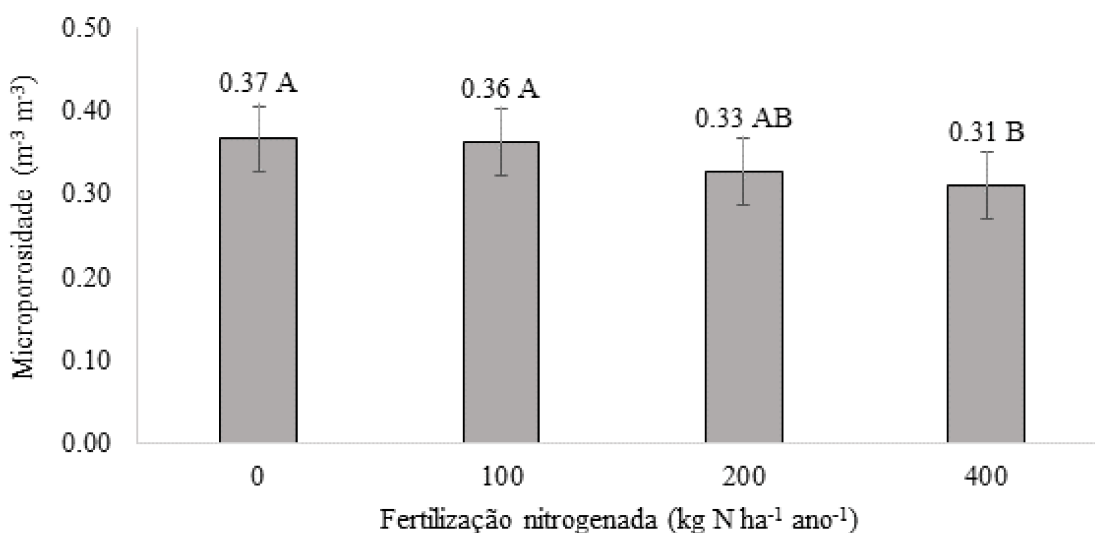


Figura 5. Microporosidade do solo em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com diferentes níveis de adubação nitrogenada. Letras iguais não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) nos atributos microporosidade e macroporosidade do solo ao considerar as diferentes profundidades (Figura 6). A profundidade 0-10 cm apresentou macroporosidade menor correspondendo a 0,23 m⁻³ m⁻³ e

maior microporosidade, $0,36 \text{ m}^{-3} \text{ m}^{-3}$, não havendo diferindo ($P < 0,05$) entre as profundidades 10 – 20 e 20 – 30, tanto para macro quanto para microporosidade (Figura 6).

Por se tratar de uma área com pastejo animal, o comportamento apresentado pode estar relacionado com o processo de compactação na parte mais superficial do solo resultante da pressão mecânica exercida pelo pisoteio animal. Silva *et al.* (2011) também encontraram valores menores de microporidade na camada superficial e maiores valores da macroporosidade, diferindo das outras duas camadas, que não diferiram entre si. Segundo Mazurana *et al.* (2013), a microporosidade sofre pouca influência da cobertura vegetal e tráfego sobre o solo, e sim por características do solo, como textura e o teor de matéria orgânica.

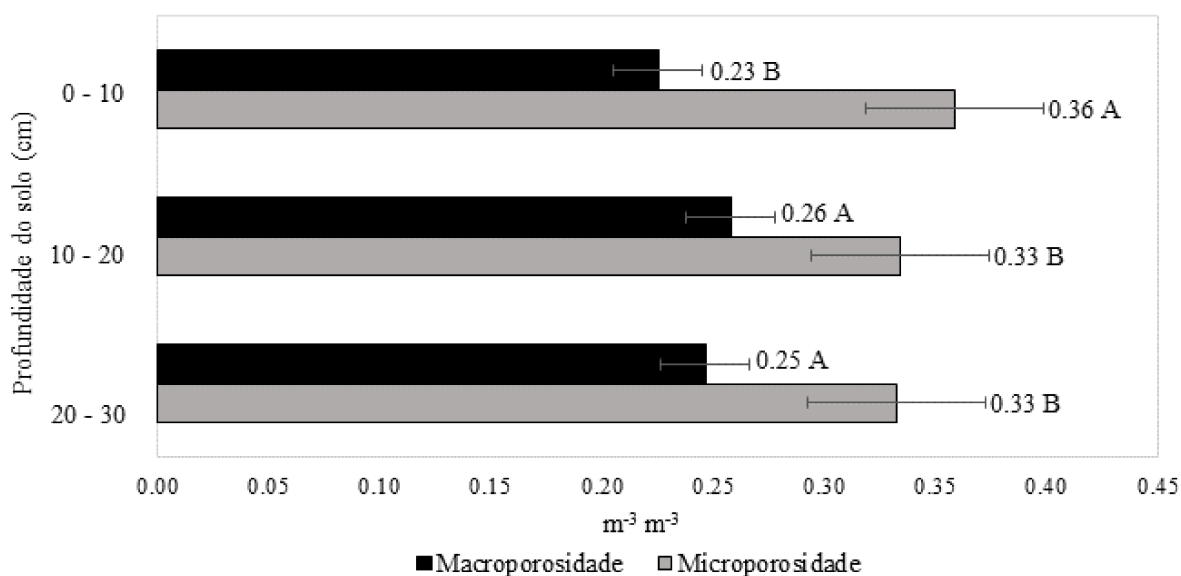


Figura 6. Microporosidade e macroposidade do solo em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com diferentes níveis de adubação nitrogenada. Letras iguais não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

3.2 Atributos químicos do solo

Ocorreu interações entre ano e níveis de adubação para o fósforo (P), onde em 2020 houve maior concentração de P nos tratamentos adubados (Figura 7). Este comportamento pode estar relacionado à adubação, a medida em que se aplica a adubação nitrogenada estimula-se a planta ao desenvolvimento e isso demanda a absorção dos demais nutrientes, como o fósforo. Não sendo repostado por meio da adubação fosfatada, o sistema torna-se dependente apenas do P orgânico proveniente da decomposição dos

resíduos vegetais depositados na superfície do solo (PEREIRA, 2009), que com o passar do tempo sofre queda em função da extração pelas culturas, que é um dos principais fatores de perdas desse elemento no sistema (MORON & KIEHL, 1992).

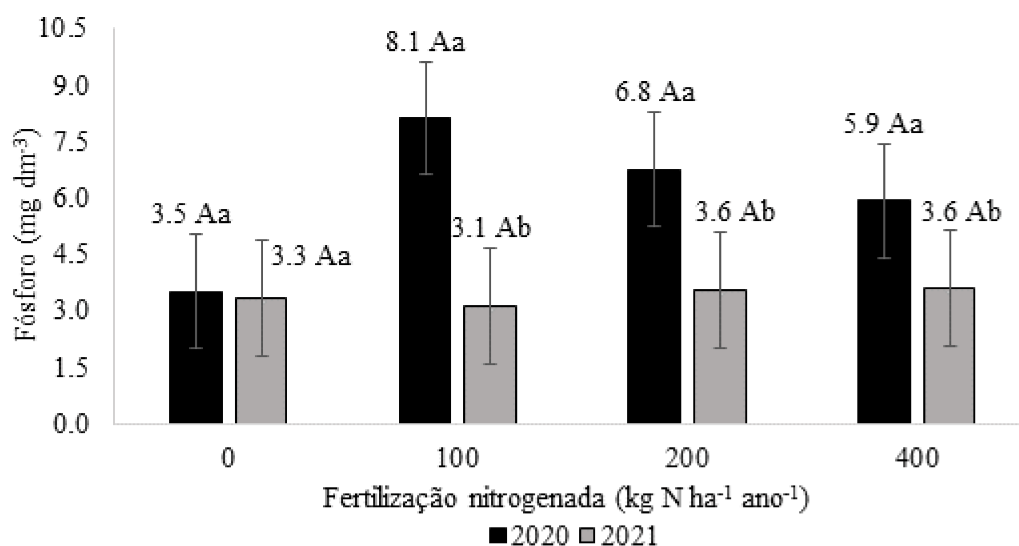


Figura 7. Interação adubação nitrogenada × ano de avaliação para o fósforo do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta com diferentes níveis de adubação nitrogenada. Letras iguais não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Houve interação tripla entre fertilização nitrogenada, ano de avaliação e distância da fileira de árvores para o teor de magnésio (Mg) no solo (Tabela 5), o ano de 2020 apresentou os menores valores em relação ao ano de 2021 em todos os tratamentos com exceção do 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ que nas distâncias 7,5 m, 11,25 e 15 m não diferiu entre os anos de avaliação. Este resultado pode ser referente à resposta a adubação, o sistema ILPF começou a receber dosagens de N em 2020, embora a resposta da gramínea em relação ao nitrogênio ocorre de forma imediata, proporcionando desenvolvimento radicular e formação de dossel, a serapilheira produzida pela forragem e pelas leguminosas arbóreas entra em processo de decomposição lenta, tornando o processo de ciclagem de nutriente mais demorado, isso pode ter contribuído para que o teor de Mg seja maior no ano seguinte de avaliação.

Apolinário *et al.* (2014), ao avaliarem a serapilheira da sabiá em sistema integrado, verificaram que a deposição anual de serapilheira foi de 4540 Kg ha⁻¹ por esta leguminosa, que somada a produção de palhada pela forrageira, pode promover a ciclagem de nutrientes no sistema. O sabiá é uma leguminosa arbórea que produz serapilheira de

lenta decomposição e pode proporcionar a formação de matéria orgânica no solo mais estável (Apolinário *et al.*, 2016), corroborando com o resultado encontrado, onde no ano de 2021 maiores teores de macronutrientes são observados no solo do que em 2020 em decorrência da lenta decomposição da serapilheira.

A concentração de Mg nas distâncias 7,5 m, 11,25 e 15 no tratamento 400 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ não diferiram entre os anos de avaliação (Tabela 5), provavelmente porque nestes pontos mais distantes das árvores há menor deposição de serapilheira pelas leguminosas arbóreas, dependendo apenas da deposição das gramíneas, que tende a ser reduzida por interferência do alto consumo da forragem devido a maior taxa de lotação animal neste tratamento. Apesar de a deposição de serapilheira não ter sido avaliada neste sistema, visivelmente a serapilheira foi distribuída em maior quantidade abaixo das copas próximos ao fuste principal das árvores.

Tabela 5. Interação adubação nitrogenada × ano de avaliação × distância da fileira de árvores para o magnésio do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta com diferentes níveis de adubação nitrogenada.

kg N ha ⁻¹ ano ⁻¹	Ano	Distância da fileira de árvores (m)				
		0	3,75	7,5	11,25	15
		cmol _c dm ⁻³				
0	2020	0,81 Ba	0,88 Ba	0,88 Ba	1,03 Aa	0,81 Ba
	2021	1,61 Aa	1,59 Aa	1,32 Aa	1,24 Aa	1,53 Aa
100	2020	1,18 Ba	1,26 Ba	0,81 Ba	1,16 Ba	1,13 Ba
	2021	1,72 Aa	1,70 Aa	1,71 Aa	1,57 Aa	1,34 Aa
200	2020	0,71 Ba	0,70 Ba	0,93 Ba	0,78 Ba	0,84 Ba
	2021	1,77 Aa	1,48 Aab	1,29 Aab	1,19 Ab	1,35 Aab
400	2020	0,81 Ba	1,07 Ba	1,28 Aa	1,17 Aa	0,97 Aa
	2021	1,47 Aa	1,47 Aa	1,24 Aa	1,05 Aa	1,14 Aa

Erro padrão da média: 0,20; Valor-P: 0,0122. Mesma letra maiúsculas para ano de avaliação e minúsculas para distância, dentro do tratamento, não diferem significativamente (P > 0,05).

Para o potássio (K) ocorreu interação tripla entre os níveis de adubação, ano de avaliação e distancias das fileiras de árvores (Figura 8). Observou-se que no tratamento 0 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, em geral menores valores médios (0m = 0,20; 3,5 m = 0,23; 7,5 m = 0,24; 11,25 m = 0,25 e 15 m = 0,23) para este macronutriente foram encontrados no ano de

2020. No tratamento $400 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, observou-se menores teores desse macronutriente nos pontos mais próximos das árvores no ano de 2020, provavelmente relacionado à maiores absorções pelas raízes das árvores e das forrageiras.

Os resíduos vegetais e dejetos de animais contém quantidades variáveis de elementos minerais, como o fósforo, o magnésio, o cálcio, o enxofre e os micronutrientes, à medida que a matéria orgânica se decompõe, estes elementos tornam-se disponíveis na solução do solo (INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998). Assim, maiores concentrações de potássio são observadas no ano seguinte devido maiores teores de matéria orgânica decomposta, tornando este elemento e outros mais disponíveis na solução do solo.

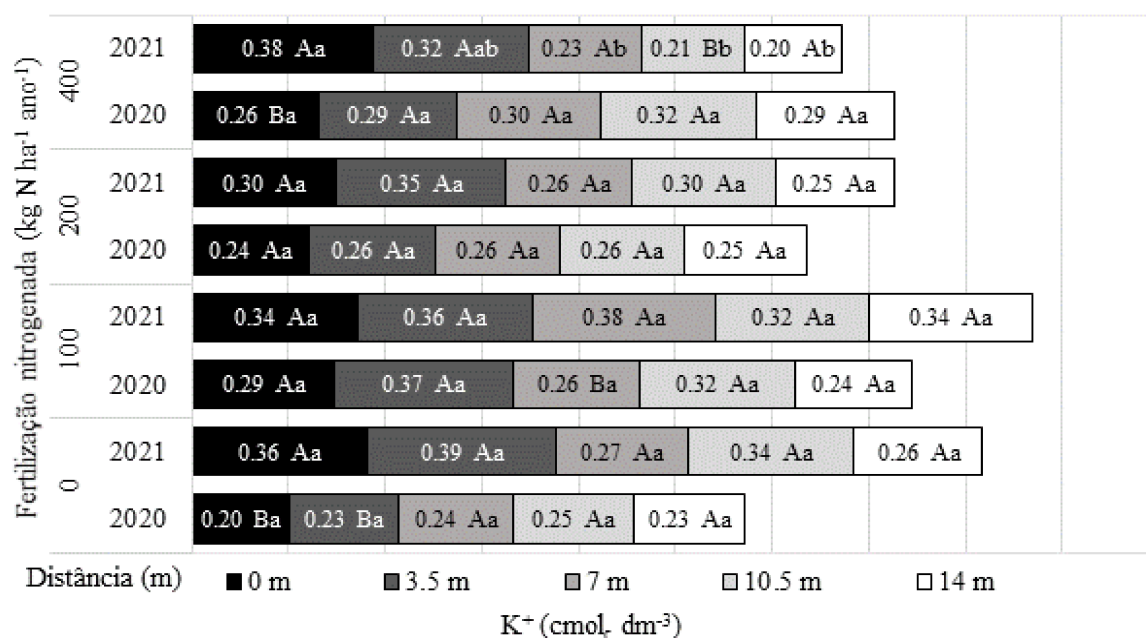


Figura 8. Interação adubação nitrogenada × ano de avaliação × distância da fileira de árvores para o potássio do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta com diferentes níveis de adubação nitrogenada.

Ocorreu interação tripla entre os níveis de adubação nitrogenada, ano de avaliação e distâncias da fileira de árvores para a soma de bases (SB) (Tabela 6). Em 2021 foram encontrados os maiores valores: 4,02; 4,16; 3,82; 3,84 e 3,78 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (valores médios para as distâncias 0 m, 3,75 m, 7,5 m, 11,25 m e 15 m respectivamente) para soma de bases em todos os tratamentos. Para explicar este comportamento retoma-se ao que vem sendo dito nos resultados verificados anteriormente, a decomposição dos resíduos vegetais e animais ocorre lentamente pela ação dos microrganismos, tornando os elementos avaliados

disponíveis em maior quantidade no ano seguinte de avaliação. Araújo *et al.* (2011), afirmam que maiores valores de soma de bases é resultado do processo de ciclagem de nutrientes beneficiados pela serapilheira e raízes. A matéria orgânica do solo é a principal variável que controla os teores das bases trocáveis.

Tabela 6. Interação adubação nitrogenada × ano de avaliação × distância da fileira de árvores para a soma de bases do solo, em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta com diferentes níveis de adubação nitrogenada.

kg N ha ⁻¹ ano ⁻¹	Ano	Distância da fileira de árvores (m)				
		0	3,75	7,5 cmol _c dm ⁻³	11,25	15
0	2020	2,90 Ba	3,15 Ba	3,04 Aa	3,25 Aa	3,08 Aa
	2021	4,06 Aab	4,44 Aa	3,74 Ab	3,72 Ab	3,63 Ab
100	2020	3,62 Aa	3,93 Aa	3,32 Ba	3,45 Aa	3,34 Aa
	2021	4,06 Aa	4,21 Aa	4,14 Aa	3,97 Aa	3,93 Aa
200	2020	3,32 Aa	3,41 Aa	3,49 Aa	3,11 Aa	3,30 Aa
	2021	4,09 Aa	4,12 Aa	3,67 Aa	4,04 Aa	4,10 Aa
400	2020	3,10 Bab	3,07 Ab	3,75 Aa	3,42 Aab	3,35 Aab
	2021	3,88 Aa	3,89 Aa	3,80 Aa	3,66 Aa	3,47 Aa

Erro padrão da média: 0,35; Valor-*P*: 0,0474. Mesma letra maiúsculas para ano de avaliação e minúsculas para distância, dentro do tratamento, não diferem significativamente (*P* > 0,05).

Houve efeito significativo (*P* < 0,05) para os teores de P, K⁺ e Ca²⁺ em relação a profundidade (Tabela 7), em que as maiores concentrações destes nutrientes ocorreram na camada de 0-10 cm. Em relação ao Mg²⁺, não houve diferença significativa (*P* > 0,05) entre as profundidades. A maior concentração desses nutrientes na camada superficial pode estar relacionada a maior deposição de resíduos vegetais e animais nesta camada, consequentemente maior concentração de matéria orgânica. Além disso, os maiores teores de P, K⁺ e Ca²⁺ nessa camada podem ser rapidamente absorvidos pelas plantas, uma vez que estão prontamente disponíveis na camada de maior absorção de nutrientes pelas mesmas (SANTOS *et al.*, 2015).

Tabela 7. Propriedades químicas do solo em três profundidades, em sistemas agroflorestais com diferentes níveis de adubação nitrogenada.

Variáveis	Profundidade do solo (cm)			EPM	Valor-P
	0 - 10	10 - 20	20 - 30		
P (mg dm ⁻³)	5,97 A	4,51 B	3,73 B	0,8	0,0009
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,27 A	2,12 B	2,03 B	0,09	0,0002
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,21	1,17	1,22	0,08	0,6433
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,34 A	0,28 A	0,25 B	0,03	<0,0001
SB (cmol _c dm ⁻³)	3,81 A	3,56 A	3,50 B	0,16	<0,0001

EPM: Erro padrão da média. Letras iguais na linha não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

4 CONCLUSÃO

A adubação nitrogenada melhora os atributos físicos do solo em sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta proporcionando índices de porosidade adequadas para infiltração de água e trocas gasosas, permitindo maior desenvolvimento radicular das gramíneas onde se aplica dosagens de N acima de 100 kg ha^{-1} diminuindo a competição por esse nutriente entre as árvores e as forrageiras.

Os atributos químicos do solo são influenciados pela adubação nitrogenada, maiores teores de N estimulam a absorção de outros nutrientes pelas plantas, que dependendo apenas de sua reposição orgânica pode tornar-se escasso.

O P sofreu redução na solução do solo, sendo maior no ano de 2020 do que em 2021, por consequência da absorção imediata pelas plantas, em contrapartida o Mg e K que se tornam disponíveis mais lentamente do que o P, foram maiores no ano seguinte devido a decomposição da serapilheira que ocorre de forma lenta.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J.; SOBRINHO, J. R. S. C.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of alley cropping system in sandy loam in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling In Agroecosystems**, v.86, p. 189-198, 2010.
- APOLINÁRIO, V. X. O.; DUBEUX JR, J. C. B.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; MELLO, A. C. L. D.; COELHO, C. D. L.; MUIR, J. P.; SAMPAIO, E. V. S. B. Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral system. **Crop Science**, v.1, n.3, p.1-24, 2016.
- APOLINÁRIO, V. X. O.; DUBEUX JR, J. C. B.; MELLO, A. C. L.; VENDRAMINI, J. M. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; MUIR, J. P. Litter Decomposition of Signalgrass Grazed with Different Stocking Rates and Nitrogen Fertilizer Levels. **Agronomy Journal**, v. 106, p. 622 – 627., 2014.
- ARAÚJO, E. P.; DIAS, L. J. B. S.; CATUNDA, P. H. A. Relatório Técnico de Pedologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico. São Luís: IMESC, 2019.
- CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.
- CARNEIRO, S. P. Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da UFMG, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MPBB-8FXLGP/mestradosilvia.pdf?sequence=1>>. Acesso em 11 de novembro 2022.
- COSTA, N. L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; MAGALHÃES, J. A.; BENDAHAAN, A. B. Adubação nitrogenada e consorciação de *Trachypogon plumosus* com *Stylosanthes capitata* cv. Lavradeiro sob diferentes densidades de semeadura. **Pubvet**, v. 11, n. 8, p. 808-814, 2017.
- DUPAS, E.; BUZETTI, S.; RABÊLO, F. H. S.; SARTO, A. L.; CHENG, N. C.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S.; DINALLI, R. P.; GAZOLA, R. N. Nitrogen recovery, use efficiency, dry matter yield, and chemical composition of palisade grass fertilized with nitrogen sources in the Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 10, n. 9, p. 1330-1338, 2016.
- VARGAS, L.; PEIXOTO, C. M.; ROMAN, E. S. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. Documnetos online – Embrapa, v. 61, 2006. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do61_2.htm> acesso em 15 de janeiro de 2023.

FERREIRA, J. P.; ANDREOTTI, M.; PASCOALOTO, I. M.; COSTA, N. R.; AUGUSTO, J. G. Atributos químicos e físicos de um latossolo em diferentes sistemas integrados de produção agropecuária. **Boletim de Indústria Animal**, v. 75. p. 1-17, 2018.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, v. 26 (1-2), p. 8 – 25, 2017.

INMET. (2022). Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos 2011-2022. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt_mensal.php?&mRelEstacao=82376&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=01/01/2010&mRelDtFim=31/12/2019&mAtributos=11 acesso em 17 de fev. de 2022.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO. Manual Internacional de fertilidade do solo / Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2 ed. p. 177. Editora Potafos. Piracicaba – SP, 1998.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 116–121, 2008.

KAZMIERCZAK, R. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de preparo. 2018. 102f. – Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – PR, 2018.

LEPSCH, I.F. Dezenove lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p

LIMA, C. L. R. Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

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

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

MARTINS, M. V. R.; PEREIRA, C. E.; KIKUTI, H. Adubação nitrogenada na implantação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu Humaitá-AM. **Scientia Plena**. v. 18, n 7, 2022.

MAZURANA, M.; FINK, R. J.; SILVEIRA, H. V. da; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, n. 5. p. 1185 – 1195, 2013.

MORON, A.; KIEHL, J.C. Dinâmica del fosforo en tres sistemas agricolas en el suroeste de Uruguay. **Revista Investigaciones Agronómicas**, n.1, p.61-84, 1992.

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. The desing, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: International Grass Land Congress, 6, 1952, Pennsylvania. Proceeding. **Pennsylvania: StateCollegePress**, p.1380-1385, 1952.

PAREYN, F. G. C.; ARAUJO, E. de L.; DRUMOND, M. A. *Mimosa caesalpiniiifolia*: Sabiá. In: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; PAREYN, F. G. C. (Ed.). Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste. Brasília, DF: MMA, p. 759-765, 2018.

PEDROTTI, A.; MELLO JÚNIOR, A.V. Avanços em ciência do solo: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristóvão: Editora UFS, Aracaju: **Fapitec**, p. 23-44, 2009.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. **Sci**, v.11, p. 1633–1644, 2007.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. Visão Agrícola, n. 9. p. 43 – 46, 2009. Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Fertilidade04.pdf>> acesso em 15/11/2022.

PEZZOPANE, J.R.M.; SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G.; BOSI, C.; SENTELHAS, P.C. An integrated agrometeorological model to simulate Marandu productivity. **Field Crop**, v. 224, p. 13– 21, 2018.

RANZANI, G. **Manual de levantamento de solos**. 2. Ed. São Paulo, Edgard Blusher, 1969.

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.

SANTOS, H.P.; SPERA, S.T.; FONTENELE, R.S., LOCATELLI, M.; SAINTI, A. Alterações edáficas decorrentes de diferentes manejos de solo e rotação de culturas em latossolo sob condições subtropicais. **Nativa**, v.03, n.04, p.233-240, 2015.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas – SP, v. 70, n. 1, p. 147 – 156, 2011.

SILVA, E. R.; SILVA, S. A. S.; LISBOA, S. C. L.; FARIAS, V. D. S.; HAMID, S. S.; SANTOS, M. A. S. Atributos físicos e químicos do solo sob diferentes sistemas de manejo em uma unidade de produção rural no município de Pacajá, Pará, Brasil. In: MATOS, R. R. S. da S., MACHADO, N. A. F., CORDEIRO, K. V. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

SILVA, I.A.G. Deposição e decomposição de serapilheira de leguminosas arbóreas consorciadas com *brachiaria decumbens* stapff. 2015. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 96 f.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2485-2492, 2000.

SOLLENBERGER, L.E.; MOORE, J.E.; ALLEN, V.G.; PEDREIRA, C.G.S. Reporting forage allowance in grazing experiments. **Crop Science**, v.45, n.3, p.896-900, 2005.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (2017). Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises de métodos de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, EMBRAPA, p. 574.

TORRES, J. L.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; VIEIRA, D. M.S. Alterações nos atributos físicos do solo em função da irrigação e do pastejo rotacionado. **Irriga**. v. 18, n 3, 558 – 571, 2013.

YU, B.; XIE, C.; CAI, S.; CHEN, Y.; LV, Y.; MO, Z.; LIU, T.; YANG, Z. Effects of tree roots density on soil porosity and non-capillary porosity using a tree radar unit in Shanghai, China. **Sustainability**, Berna, Switzerland. 16: 4640, 2018.

CAPÍTULO 3. PRODUÇÃO DE *MEGATHYRSUS MAXIMUS* JACQ. CV. MASSAI EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ECÓTONO AMAZÔNIA-CERRADO.

RESUMO

Níveis adequados de suplementação nitrogenada podem proporcionar ganhos mútuos entre os componentes de sistemas agrossilvipastoris. O objetivou-se quantificar a produtividade e composição química do capim *Megathyrsus maximus* Jack cv. Massai em consórcio com o milho (*Zea mays* L.) entre fileiras duplas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), no espaçamento de 30 × 3 × 2 m. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Cada bloco de 1 ha, foi subdividido em quatro piquetes de 0,25 ha com 276 árvores de sabiá/ha. Os tratamentos foram 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio (N), as adubações foram com ureia. Foram utilizados novilhos anelados (*Bos taurus*), com peso corporal (PC) médio inicial de 200 ± 35 kg, segundo técnica put-and-take, utilizando dois animais testes por piquete, e animais de ajustes de acordo com a disponibilidade de forragem [2 kg matéria verde seca (MVS) kg PC⁻¹]. A avaliação do massai foi realizado de jun/2021 a mar/2022 a cada 28 dias. Foram determinadas a massa de forragem total (MFT), porcentagem de forragem verde (%FV) e senescente (%FS), altura e densidade da forragem (DF), proteína bruta da forragem verde (PBFV) e senescente (PBFS), matéria mineral da forragem verde (MMFV) e senescente (MMFS); fibra em detergente neutro da forragem verde (FDNFV) e senescente (FDNFS); fibra em detergente ácido da forragem verde (FDAFV) e senescente (FDAFS), lignina da forragem verde (LIGFV) e senescente (LIGFS). Utilizou-se o programa Proc Mixed do SAS e as médias de cada tratamento foram comparadas por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. A massa de forragem não foi influenciada pelos níveis de adubação (variação de 2130 Kg MS ha⁻¹ a 2200 Kg ha⁻¹). A menor porcentagem de forragem verde (51,50%) e maior de senescente (48,89%) foi observado no tratamento sem adubação. As porcentagens de MM, PB, FDN e LIG não foram influenciadas pela adubação. Janeiro de 2022 apresentou maior valor de MM (17,54% superior aos demais meses) e LIG (31,07% superior aos demais meses, juntamente com os meses de agosto e outubro de 2022). O menor valor de PB foi em julho de 2021 (24,43% inferior aos demais meses). FDN foi maior em agosto de 2021 e fevereiro de 2022 (15% e 12,15% superiores aos demais meses respectivamente). A adubação nitrogenada influencia na produtividade da forragem verde e morta, tratamentos adubados apresentam maior porcentagens de forragem verde. Menores concentrações de PB é observado nos períodos de baixa precipitação e elevadas temperaturas, maiores porcentagens de FDN e LIG verificados também no período de seca.

Palavras-Chaves: agroecossistemas, *Megathyrsus maximus* cv. Massai, serviços ambientais, fertilidade.

CHAPTER 3. PRODUCTION OF *MEGATHYRSUS MAXIMUS* JACQ. CV. MASSAI IN AGROSSILVIPASTORAL SYSTEM UNDER NITROGEN FERTILIZATION IN THE AMAZON-CERRADO ECOTONE.

ABSTRACT

Adequate levels of nitrogen supplementation can provide mutual gains between the components of agrosilvopastoral systems. The objective was to quantify the productivity and chemical composition of *Megathyrsus maximus* Jack cv. Massai intercropped with corn (*Zea mays* L.) between double rows of thrush (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth), spacing $30 \times 3 \times 2$ m. The experimental design was a complete randomized block with three replicates and four treatments. Each block of 1 ha was subdivided into four paddocks of 0.25 ha with 276 thrush trees/ha. The treatments were 0, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹ year⁻¹ of nitrogen (N), the fertilizations were with urea. Beef steers (*Bos taurus*) with average initial body weight (BW) of 200 ± 35 kg were used, according to the put-and-take technique, using two test animals per paddock, and adjustment animals according to forage availability [2 kg dry matter kg BW⁻¹]. The massai was evaluated from Jun/2021 to Mar/2022 every 28 days, and the total forage mass (MFT), percentage of green (%FV) and senescent (%FS), forage height and density (DF), green forage crude protein (PBFV) and senescent (PBFS), green forage mineral matter (MMFV) and senescent (MMFS); neutral detergent fiber from green (FDNFV) and senescent (FDNFS) forage; green (FDAFV) and senescent (FDAFS) forage acid detergent fiber, green (LIGFV) and senescent (LIGFS) forage (LIGFS) lignin. The SAS Proc Mixed program was used and the means of each treatment were compared using Tukey's test, at a 5% probability level. Forage mass was not influenced by fertilization levels (variation from 2130 kg DM ha⁻¹ to 2200 kg ha⁻¹). The lowest percentage of green forage (51.50%) and the highest percentage of senescent (48.89%) was observed in the treatment without fertilization. The percentages of MM, CP, NDF and LIG were not influenced by fertilization. January 2022 had the highest MM value (17.54% higher), LIG was also higher in this month (31.07% higher, together with the months of August and October 2022). The lowest PB value was in July 2021 (24.43% lower). FDN was higher in August 2021 and February 2022 (15% and 12.15% higher respectively). Nitrogen fertilization influences the productivity of green and dead forage, fertilized treatments have higher percentages of forage green. Lower concentrations of PB are observed in periods of low precipitation and high temperatures, higher percentages of NDF and LIG are also observed in the dry period.

Keywords: agroecosystems, forager, environmental services, fertility.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional, estima-se que, em 2030, a população global atinja cerca de 8,5 bilhões de habitantes, e, em 2050, 9,7 bilhões, em consequência disso, poderá haver grandes gargalos para o desenvolvimento sustentável (United Nations, 2019).

Nesse cenário, o Brasil apresenta grande importância como um dos principais fornecedores de alimento. Sua pecuária é caracterizada por ter a maior parte de seus rebanhos criados em pastagens tropicais (ABDALLA FILHO *et al.*, 2019)., sendo essa a forma mais econômica de produzir gado (CARVALHO *et al.*, 2017).

Contudo, um grande entrave para a produção da pecuária no país é a degradação das pastagens em que 80% das áreas destinadas a agropecuária possuem algum estágio de degradação. Tal dano é resultante de manejos inadequados, como preparo incorreto do solo, escolha da forrageira errada e não reposição dos nutrientes, ou seja, falta de adubação (CARVALHO *et al.*, 2017), e por consequência, temos a abertura de novas áreas, nas últimas décadas, o Brasil dobrou sua área agrícola (DIAS, *et al.*, 2016), essa extensificação foi responsável por impactos ambientais, principalmente na Amazônia (VALENTIM *et al.*, 2009) e no Cerrado (ROCHA *et al.*, 2011).

A adubação contribui para potencializar a produção da forragem, fornecendo nutrientes e aumentando a densidade. As pastagens necessitam de alguma fonte de reposição de Nitrogênio (N), seja ela química ou biológica. O N é essencial para manter a produtividade, na qual contribui de forma significativa para o desenvolvimento da folha, densidade de perfilho e folhas por perfilho. A falta desse nutriente, além de comprometer as exigências da pastagem, reflete no consumo do animal sob o pastoreio (COSTA *et al.*, 2017).

Sabe-se que a adubação muito contribui para a manutenção das pastagens, principalmente a adubação nitrogenada. No entanto, um dos grandes entraves para a adoção da adubação é o valor dos insumos. No primeiro trimestre de 2022, intensificou-se o aumento nos valores dos fertilizantes, como a ureia, em decorrência do conflito entre Rússia e a Ucrânia, que resultou em sanções econômicas impostas sobre a Rússia, um dos principais exportadores de fertilizantes para o Brasil. O Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), mostrou que a tonelada da ureia foi negociada à média de R\$ 5.844,70 no Brasil, em 2022, valorização mensal de 36,8% e anual de 97,3% (OSAKI, 2022) o que dificulta ainda mais seu uso em adubação de pastagens.

Uma das alternativas de manejo que contribui para evitar ou recuperar áreas degradadas, de forma sustentável, é a adoção de um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em suas diversas modalidades. Dentro dessas modalidades, está o sistema agrossilvipastoril, modelo que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais em uma mesma área, contribuindo para sinergia da área por meio da produção integrada (ANJOS *et al.*, 2021).

A introdução de uma leguminosa arbórea em consorcio com a pastagem pode ser uma alternativa viável para a recuperação de pastagens degradadas, pois realizam fixação do nitrogênio atmosférico por meio de simbiose, melhorando as propriedades físicas e químicas do solo, além de melhorar a qualidade da forragem (AGUIRRE *et al.*, 2014). Além disso, a incorporação de uma leguminosa arbórea atua modulando um microclima na área, reduzindo a temperatura do ar e elevando a umidade relativa, propiciando ao animal conforto térmico e, por consequência, melhor desempenho produtivo, reprodutivo e sanitário (ARANHA *et al.*, 2019).

Entre as gramíneas para uso em sistemas agrossilvipastoris, o capim Massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai) se destaca. Ele foi selecionado e lançado comercialmente pela Embrapa Gado de Corte, em 2001 (EMBRAPA, 2001). Essa gramínea é amplamente utilizada por ser bem adaptada a solos bem drenados e adaptada a altas temperaturas. O capim massai tem elevado potencial produtivo (CARVALHO *et al.*, 2014), com uma média de 13 t MS ha⁻¹. O massai é uma das gramíneas recomendadas para uso em sistema agrossilvipastoril por apresentar alto perfilhamento com uma boa relação folha:colmo, e tolerância ao sombreamento (COSTA *et al.*, 2012).

Entendendo a importância da adubação para alta produtividade do capim massai, a hipótese da pesquisa baseia-se que, o uso da adubação nitrogenada aumenta a produção e melhora a qualidade bromatológica da forragem.

Diante o descrito, o objetivo desta pesquisa foi quantificar a produtividade e composição química do capim Massai sob diferentes doses de adubação nitrogenada em um sistema agrossilvipastoril, no Ecótono Amazônia-Cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização, Histórico e Delineamento da Área Experimental

O experimento foi realizado na Unidade de Referência Tecnológica em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, unidade Cocais em Pindaré Mirim – MA, o histórico e delineamento da área experimental estão descritos no Capítulo 2.

2.2 Avaliação da Produção do Capim Massai

Em junho de 2021 iniciou-se as coletas de capim e foram concluídas em março de 2022, sendo avaliado de junho a março a produtividade e de junho a fevereiro a composição química. A cada 28 dias (período do ciclo de avaliação) foi determinada a massa de forragem total (MFT) da gramínea, totalizando 10 períodos de avaliações, utilizando-se o método de dupla amostragem (HAYDOCK & SHAW, 1975).

Não havia homogeneidade quanto a densidade das touceiras nas parcelas. Foram atribuídas notas às touceiras de acordo com seu volume visual, sendo touceiras menos densas, nota 1, touceiras mais densas, nota 3 e a intermediária, nota 2. Eram coletadas duas amostras (dupla amostragem) para cada nota, totalizando seis pontos de coleta para cada parcela. Os cortes das plantas foram feitos a 5 cm do solo, delimitadas por um quadrado de 1 m², sendo dois pontos de coletas para cada nota. A altura da pastagem nesses pontos foi estimada considerando a média das alturas das touceiras, com o auxílio de uma fita métrica.

Foram realizadas 30 medidas indiretas em cada parcela, por meio da altura e notas visuais, sendo essas medidas correlacionadas com a massa de forragem estimada (PEDREIRA, 2002). Assim foi possível a obtenção de equações de regressão para cada parcela, associando a massa de forragem com a média das medidas obtidas com a altura (média de 30 pontos por parcela) devido aos maiores valores de R². A densidade da forragem foi estimada por meio da massa de forragem total e da altura média do pasto.

As adubações nitrogenadas foram realizadas em toda área do piquete, com ureia (46% de N), e parceladas em quatro doses iguais no período chuvoso no ano de 2021 (Figura 1), nos meses de março, abril, maio e junho, e repetidas no mesmo período no ano de 2022. O adubo foi distribuído manualmente após cada intervalo de 28 dias.

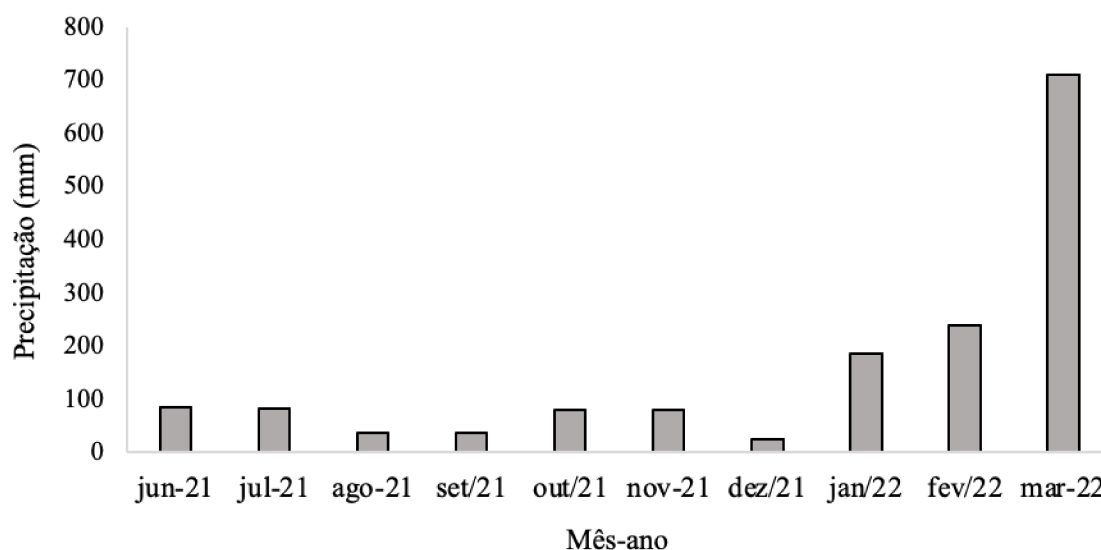


Figura 1. Precipitação mensal (mm) de junho de 2021 a março de 2022 no município de Pindaré-Mirim, MA.

Neste período os pastos foram manejados através de lotação intermitente, com carga variável “put and take”, conforme metodologia proposta por Mott e Lucas (1952). O ajuste dos animais nos piquetes foi adaptado conforme recomendação de Sollenberger *et al.* (2005), ajustando a oferta de forragem por meio da relação direta entre massa de forragem verde seca (MFVS) e o peso corporal (PC) dos animais.

Os animais do experimento eram anelorados, machos não castrados, com peso médio inicial de 200 ± 35 kg de PC, que foram distribuídos e manejados de acordo com a oferta de forragem pretendida de 2 kg MFVS PC⁻¹. Foram utilizados dois animais testes por piquete e ajustes de acordo com a disponibilidade de forragem, sendo retirados todos os animais quando a oferta de forragem era insuficiente para a permanência dos testes. A pesagem dos animais foi realizada a cada 28 dias após jejum prévio de 12 horas. Controle de endo e ectoparasitas a cada três meses. Tanto o sal mineral quanto a água eram disponibilizados para consumo “*ad libitum*” em todos os piquetes.

2.3 Análise da Composição Química do Capim

As amostras coletadas foram pesadas (peso fresco total), e em seguida, separadas em forragem verde e senescente, a fim de obter a porcentagem de forragem verde e morta, em seguida foram submetidas à pré - secagem, em estufa de ventilação forçada, a 55 °C, até o peso constante. As amostras retiradas da estufa foram pesadas novamente (peso seco) e moídas em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm para analisar a composição química

determinando os conteúdos de material mineral (MM) e proteína bruta (PB) descrita por Detman *et al.* (2012) e fibra em detergente neutro (FDN), e lignina pelo método de Van Soest *et al.* (1991), em autoclave, conforme relatado por Pell & Schofiel (1993).

2.4 Análises Estatísticas

Para todos os dados, foram testadas as premissas para a análise de variância, sendo normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variância dos erros (teste de Bartlett). Posteriormente, foram realizadas análises de variância, utilizando o procedimento Proc Mixed do SAS® OnDemand for Academics, utilizando-se o teste de Tukey, quando o teste F foi significativo ($P < 0,05$). Foram considerados como efeitos fixos os níveis de adubação e ciclos de avaliação (este último como medida repetida). O bloco foi considerado como aleatório.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Produtividade do Massai

A massa e densidade da forragem não diferiram ($P > 0,05$) entre os níveis de adubação (Tabela 1). Possivelmente a escassez de água, no período seco (Figura 1), dificultou o restabelecimento do dossel e maior produção, mesmo em altos níveis de adubação. Outro fator que possa ter permitido o tratamento $0 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a não diferir na produtividade em relação aos demais tratamentos, pode estar relacionado a eficiência na fixação biológica de nitrogênio (FBN) pela leguminosa. Figueiredo (2022) avaliando a FBN, na mesma área de estudo, verificou que o tratamento não adubado, não sofreu com diminuição da FBN pela leguminosa, encontrando 77% do nitrogênio nas folhas da leguminosa derivado da atmosfera, aumentando assim sua fixação no solo, disponibilizando às gramíneas.

O nitrogênio é perdido em maiores proporções em solos arenosos (Tabela 2, Capítulo 2), e em condições de alta umidade (OLIVEIRA *et al.* 2010), outro fator que pode ter contribuído para não haver diferença na produção de forragem entre os tratamentos. Moura *et al.* (2013) afirmam que nas regiões do trópico úmido, com predominância de altas temperaturas e umidade, as perdas de N está presente também no período de maior precipitação pluviométrica, principalmente em solos de baixa condutividade hidráulica, contribuindo com uma baixa eficiência e sem diferença significativa entre os tratamentos adubados.

Tabela 1. Variáveis produtivas da forragem em um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, com níveis de adubação nitrogenada.

Variáveis	Fertilização Nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)				EPM	Valor- <i>P</i>
	0	100	200	400		
Massa Total (kg MS ha^{-1})	2160	2170	2200	2130	20,41	0,994
Densidade da forragem (kg MS cm^{-1})	47,12	40,97	41,27	39,70	6,24	0,839

EPM: Erro padrão da média. Letras iguais na linha não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Embora não tenha sido observado diferença na massa total de forragem entre os tratamentos, o percentual de forragem verde foi maior nos tratamentos que receberam adubação (Figura 2), ou seja, forragem de maior concentração de proteína bruta. Pastos adubados com doses de nitrogênio possuem maior massa de lâminas foliares verdes, componente morfológico da forragem com maior teor de nitrogênio (SANTOS, 2007).

A menor ($P < 0,05$) porcentagem de forragem verde, assim como a maior porcentagem de forragem morta foi observada no tratamento sem adubação (Figura 2). O nitrogênio é o principal nutriente para a manutenção da produtividade das gramíneas e o principal constituinte das proteínas que participam ativamente na síntese dos compostos orgânicos que formam a estrutura do vegetal, responsável por características estruturais da planta, além de características morfogênicas (SANTOS *et al.*, 2012), por isso a maior porcentagem de forragem verde foi encontrada nos tratamentos com adubação.

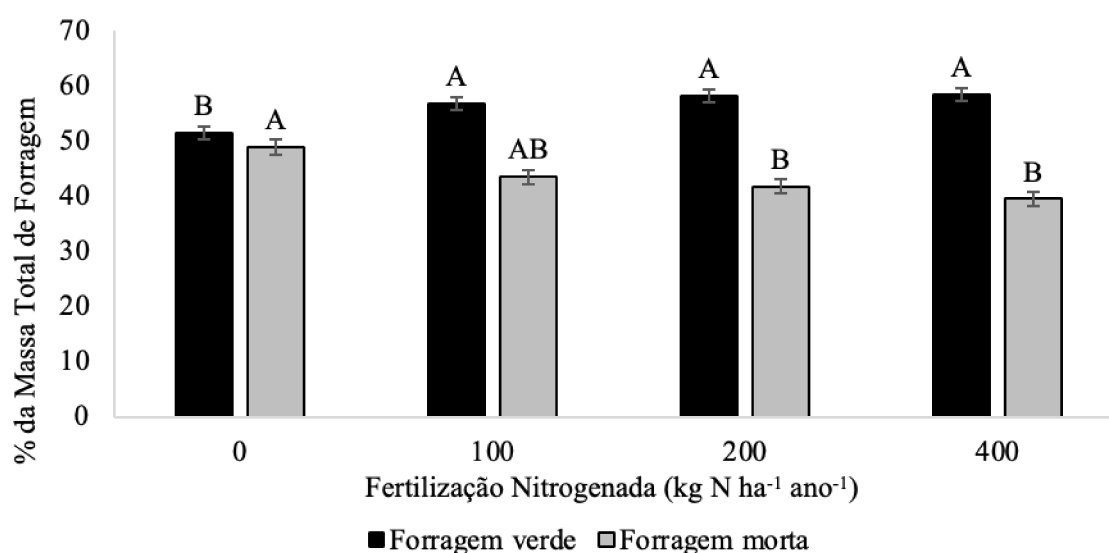


Figura 2. Percentual de forragem verde e morta com base na massa total, em um sistema ILPF com diferentes níveis de adubação nitrogenada. Letras iguais, para cada variável considerada, não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Considerando os períodos de avaliação, a menor produção de massa de forragem ($P < 0,05$) foi observada em junho (1660 MS kg ha⁻¹) e julho (1510 MS kg ha⁻¹) de 2021, corroborando com tal sazonalidade na produção de forragem, foi necessário realizar a retirada dos animais da área experimental no mês de agosto, devido a quantidade insuficiente de massa de forragem disponível para a alimentação deles, no entanto a avaliação das demais variáveis continuaram mesmo na ausência dos animais na área

experimental. A coleta de massa de forragem foi realizada nos meses de junho e julho de 2021, logo após a saída dos animais dos piquetes, ou seja, quando os animais já tinham consumido grande parte da forragem disponível. Por outro lado, no mês de setembro embora tenha ocorrido baixa precipitação (Figura 1) a massa de forragem foi maior (2560 MS kg ha⁻¹) que junho e julho, provavelmente devido à ausência de pastejo pelos animais, permitindo a rebrota do capim por mais tempo.

Houve efeito de ciclo ($P < 0,05$) na proporção de forragem verde e morta (Tabela 2), com média superior (8,17%) na forragem verde nos meses de janeiro e março de 2022, em relação aos outros períodos de avaliação, que corresponde aos meses com elevada precipitação (Figura 1). No período de chuva o fluxo de renovação de tecidos é aumentado, e novas folhas surgem com maior rapidez. Machado *et al.* (2008) destacam a disponibilidade de água no solo como um fator determinante na produção da planta forrageira, favorecendo a um processo de morfogênese mais intenso, dando origem a tecidos novos, tendo estes um melhor valor nutritivo e, conseqüentemente, melhor aproveitamento pelos animais.

As maiores porcentagens de forragem morta foram observadas nos meses de agosto (47,05%), outubro (47,05%) e dezembro (46,58%) de 2021 (Tabela 2), que corresponde aos meses com baixa precipitação (Figura 2). A forragem morta compromete a estrutura do dossel forrageiro, conseqüentemente o comportamento e desempenho animal, pois o acúmulo desse material causa sombreamento na base do dossel inibindo a emissão de novos perfilhos, além do consumo ser reduzido pelos animais devido ao baixo valor nutritivo presente nessa fração (POMPEU *et al.*, 2009).

A densidade de forragem foi significativa nos períodos de avaliações ($P < 0,05$), variando de 30,68 kg de MS ha⁻¹ cm⁻¹ em julho de 2021 a 57,96 kg de MS ha⁻¹ cm⁻¹ em fevereiro de 2022 (Tabela 2). Os menores valores podem estar relacionados com a baixa precipitação no mês de julho e no mês de fevereiro ao alto índice pluviométrico (Figura 1) e baixas temperaturas, que não permitem atividade metabólica satisfatória e formação de tecidos da parte aérea de forrageiras tropicais. Corroborando com Bauer *et al.* (2011) onde relatam que baixas temperaturas e menor número de horas de luz determinam mudanças fisiológicas na forrageira, desencadeando o processo reprodutivo e afetando o crescimento.

No mês de fevereiro de 2022 além de ser observada baixa densidade mesmo em período chuvoso, a porcentagem de forragem verde e morta foram proporcionalmente parecidas (54,77% e 45,23% respectivamente) (Tabela 2). De acordo com FAGUNDES *et*

al. (2006), a variação estacional, reflete a atuação dos fatores climáticos na morfologia das plantas, reduzindo o número de folhas vivas por perfilho, o desenvolvimento foliar, o comprimento final da folha, a relação folha/colmo e a densidade da forrageira. A densidade resulta da influência das estações do ano no ciclo anual de crescimento das gramíneas.

Tabela 2. Variáveis produtivas da forragem em relação ao ciclo de avaliação, em um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, médias dos tratamentos.

Ciclos	Variáveis da forragem			
	Massa Total (kg MS ha ⁻¹)	Forragem verde (%)	Forragem morta (%)	Densidade (kg MS cm ⁻¹)
jun-21	1660 B	54,75 B	45,25 BC	31,43 B
jul-21	1510 B	60,10 AB	34,13 C	30,68 B
ago-21	2470 A	52,95 B	47,05 B	38,46 AB
set-21	2560 A	62,96 AB	37,04 C	42,04 AB
out-21	2290 A	52,95 B	47,05 B	47,97 AB
nov-21	2050 A	59,28 AB	40,72 BC	48,24 A
dez-21	2340 A	53,42 B	46,58 B	38,14 AB
jan-22	2300 A	63,97 A	36,03 C	45,93 AB
fev-22	2450 A	54,77 B	45,23 BC	57,96 A
mar-22	2300 A	65,64 A	34,36 C	43,24 AB
EPM	204,0	1,834	1,96	7,38
Valor- <i>P</i>	0,0014	<,0001	<,0001	0,0024

EPM: Erro padrão da média. Letras iguais na coluna não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

3.2 Composição químico - bromatológico do capim Massai

Não houve diferença significativa entre os níveis de adubação para proteína bruta da forragem verde (PBFV) ($P = 0,379$), proteína bruta da forragem morta (PBFM) ($P = 0,708$), matéria mineral da forragem verde (MMFV) ($P = 0,289$) e material mineral da forragem morta (MMFM) ($P = 0,158$), fibra em detergente neutro da forragem verde (FDNFV) ($P = 0,496$), lignina da forragem verde (LFV) ($P = 0,320$) e lignina da forragem morta (LFM) ($P = 0,890$). Com médias de $8,01 \pm 6,17$; $11,51 \pm 13,84$; $60,34 \pm 37,81$; $2,9 \pm 8,12$ %, respectivamente.

A sabiá fixa biologicamente N no solo e o disponibiliza para a absorção do capim, contribuindo com ausência de diferença entre os tratamentos que receberam adubação, e o controle. Folhas de leguminosas apresentam maior concentração de N, Apolinário *et al.* (2016) encontraram 26 g N kg^{-1} na folha da leguminosa sabiá, o que leva a

maiores taxas de decomposição da serapilheira, aumentando o N disponível para a absorção do capim. Outro fator que pode ter contribuído para não existir diferença entre os tratamentos foi a fonte de N utilizada (ureia). De acordo com Costa *et al.* (2010), as perdas de N por volatilização na forma de ureia podem atingir até 80% do nitrogênio aplicado, comprometendo a produtividade da planta forrageira.

Observa-se que em todos os níveis de adubação o capim massai atende satisfatoriamente aos requerimentos proteicos mínimos para possibilitar a atuação das bactérias fribrolíticas no rúmen, que segundo Van Soest (1994) deve ser de 70 a 80 g kg⁻¹ de PB na MS. Valores abaixo do limite mínimo pode comprometer a degradabilidade da fibra e consequentemente o aproveitamento do material para o desempenho animal (LAZZARINI *et al.*, 2009). E sua eficiência máxima da degradação da fibra e consequentemente do consumo voluntário ocorre com 100 g Kg⁻¹ de PB na MS (DETMANN *et al.*, 2014).

O menor teor de PBFV ($P < 0,05$) foi encontrado em julho de 2021, e a PBFM em junho de 2021 meses em que ocorreram uma menor produção (Figura 2), assim como baixa precipitação (Figura 1), corroborando com Bauer *et al.* (2011) que identificaram baixa qualidade da forrageira em períodos de seca. Já o teor de MMFV foi significativo ($P < 0,05$) no mês de janeiro de 2022, e o da MMFM em janeiro e fevereiro de 2022, meses com elevada precipitação.

Tabela 3. Composição químico-bromatológico da forragem verde em relação ao ciclo de avaliação, em um sistema integração Lavoura-Pecuária-Floresta, médias dos tratamentos.

Ciclos	Proteína bruta g kg ⁻¹	Matéria mineral %	FDN %	Lignina %
jun-21	88,1 A	10,74 CD	59,24 B	2,56 B
jul-21	62,2 B	8,14 E	62,51 B	2,34 B
ago-21	88,2 A	8,80 E	68,76 A	4,21 A
set-21	84 A	11,01 CD	61,23 B	2,71 B
out-21	80,5 A	10,18 D	63,73 B	3,04 AB
nov-21	74,1 A	11,32 CD	60,84 B	2,51 B
dez-21	79,6 A	13,33 B	43,00 C	2,42 B
jan-22	80,3 A	17,54 A	57,47 B	3,76 AB
fev-22	84,3 A	12,58 BC	66,34 AB	2,64 B
EPM	0,86	0,38	1,87	0,33
Valor- <i>P</i>	0,0226	<,0001	<,0001	0,0073

FDN: fibra em detergente neutro; EPM: erro padrão da média. Letras iguais na coluna não diferem significativamente ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

O maior teor de matéria mineral (MM) foi observado em janeiro de 2022 (Tabela 3) que coincide com o período de elevação das chuvas, provavelmente isso deve-se ao maior comprimento final da lâmina foliar e maior produção de forragem (2300 kg MS ha⁻¹) onde 63,97% corresponde à FV (Tabela 2), que deve ter elevado a concentração de minerais nos tecidos. A MM ou cinzas são resíduos inorgânicos que permanecem após o processo de incineração da matéria orgânica, sendo assim, é a quantidade total de minerais presentes na amostra (FIGUEIREDO, 2007).

A menor concentração de proteína bruta, foi observado no mês de julho (Tabela 2) apresentando valor de 24,43% inferior em relação aos demais meses de avaliação, a baixa produtividade (1510 kg MS ha⁻¹) (Tabela 2) e a baixa precipitação (Figura 1) neste período pode ter corroborado para este resultado. Observa-se que no mês de julho o capim Massai não atendeu aos requerimentos proteicos mínimos para a atuação das bactérias fribrolíticas no rúmen.

Os maiores valores de fibra em detergente neutro (FDN) ocorreram nos meses de agosto de 2021 e fevereiro de 2022 (15% e 12,15% superior aos demais meses de avaliação respectivamente) (Tabela 3) indicando uma baixa digestibilidade nesse período. O teor de FDN é um importante princípio que define a qualidade da forragem, é um fator limitante da capacidade digestiva pelos animais (VAN SOEST, 1994). A produção de agosto e fevereiro foi de 2470 kg MS ha⁻¹ (52,95% FV) e 2440 kg MS ha⁻¹ (54,77% FV) respectivamente. Observa-se que estes meses se destacam em maiores produções (Figura 3), o mês de agosto em decorrência da ausência de pastejo e o mês de fevereiro em resposta as chuvas.

Maiores teores de lignina foram observados nos meses de agosto, outubro (2021) e janeiro (2022), apresentando valores superiores (31,07%) em comparação aos demais meses avaliados. Altos valores de LIG é preocupante, pois ela possui efeito direto na digestibilidade da forragem, uma de suas funções é conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos vegetais. De acordo com JUNG & DEETZ (1993), a lignificação da parede celular limita a digestão dos polissacarídeos através da toxicidade de componentes da lignina aos microrganismos do rúmen, por consequência do impedimento físico provocado pela ligação lignina-polissacarídeo, limitando o acesso das enzimas fibrolíticas ao centro de reação de um carboidrato

específico, e limitação da ação de enzimas hidrofílicas causada pela hidrofobicidade criada pelos polímeros de lignina.

4. CONCLUSÃO

A adubação nitrogenada influenciou a produtividade de forragem verde e morta. Tratamentos que recebem adubação apresentam maiores porcentagem de forragem verde. As menores concentrações de proteína bruta foram observadas nos períodos de baixa precipitação e elevadas temperaturas, enquanto as maiores porcentagens de fibra em detergente neutro e lignina foram verificadas no mesmo período.

CONCLUSÕES GERAIS

A adubação nitrogenada contribui para a melhoria dos atributos físicos do solo em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta, possibilitando o aumento da porosidade do solo, que favorece a infiltração de água e as trocas gasosas, podendo favorecer maior desenvolvimento radicular das gramíneas onde se aplica dosagens de N acima de 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ diminuindo a competição por esse nutriente entre as árvores e as forrageiras.

Os atributos químicos do solo foram influenciados pela adubação nitrogenada, quanto maiores aplicações N maior será a absorção de outros nutrientes pelas plantas, e se a reposição desses nutrientes, tais como o fósforo, o potássio, magnésio e o cálcio, se der apenas pela reposição orgânica, com o passar do tempo as plantas podem sentir déficit destes macronutrientes de importância tanto quanto o nitrogênio.

O fósforo sofreu redução na solução do solo com o passar do tempo, sendo maior no ano de 2020 do que em 2021, por consequência da absorção imediata pelas plantas, em contrapartida o magnésio e potássio que se tornam disponíveis mais lentamente do que o fósforo, apresentaram maiores concentrações no ano seguinte, em decorrência da decomposição da serapilheira que ocorre de forma lenta.

A adubação nitrogenada também influenciou a produtividade da forrageira, entre os tratamentos não houve diferença de produção de massa seca total, no entanto, os tratamentos que foram adubados apresentaram maiores porcentagem de forragem verde, sendo esta de maiores concentrações de proteína e matéria mineral.

A proteína bruta da forragem sofreu influência no período de baixa precipitação e de elevadas temperaturas, apresentando diminuição em sua concentração, enquanto maiores porcentagens de fibra em detergente neutro e lignina foram observados neste mesmo período, sendo assim, no período seco é necessária uma suplementação proteica para o melhoramento do desempenho animal.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA FILHO, A. L.; COSTA JUNIOR, G. T.; LIMA, P. M. T.; SOLTANGHEISI, A.; ABDALLA, A. L.; GHINI, R.; PICCOLO, M. C. Fiber fractions multielemental and isotopic composition of a tropical C4 grass grown under elevated atmospheric carbon dioxide. **Peer J**, v. 2019, n. 2, p. 1-15, 2019.
- AGUIRRE, P. F., OLIVO, C. J., SIMONETTI, G. D., NUNES, J. S., SILVA, J. O., SANTOS, M. S. & ANJOS, A. N. A. 2014. Produtividade de pastagens de Coastcross-1 em consórcio com diferentes leguminosas de ciclo hibernal. **Ciência Rural**, v. 44, p. 2265-2272.
- ANJOS, M.M; PAZDIORA, R.D; ANDRADE, E.R; VIEIRA, A.S; BARBOZA, B.N; TURCATO, C.S; ALVES, C.D; MACHADO, P.C. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária e os efeitos do componente animal. **Society and Development**, v. 10, n. 16, 2021.
- ARANHA, H. S., ANDRIGHETTO, C., LUPATINI, G. C., BUENO, L. G. F., TRIVELIN, G. A., MATEUS, G.P., LUZ, P. A. C., SANTOS, J. M. F., SEKIYA, B. M. S. & VAZ, R. F. Produção e conforto térmico de bovinos da raça Nelore terminados em sistemas integrados de produção agropecuária. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 71 n. 5, 2019.
- BAUER, M. O.; PACHECO, L. P. A.; CHICHORRO, J. F. VASCONCELOS, L. V.; PEREIRA, D. F. C. Produção e características estruturais de cinco forrageiras do gênero *brachiaria* sob intensidades de cortes intermitentes. **Ciência Animal Brasileira / Brazilian Animal Science**, Goiânia, v. 12, n. 1, p. 17–25, 2011.
- FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; Morais, R. V.; MISTURA, C.; VITOR, C. M. T.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, M. E. R.; LAMBERTUCCI, D. M. Avaliação das características estruturais do capim-braquiária em pastagens adubadas com nitrogênio nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 30-37, 2006.
- APOLINÁRIO, V. X. O.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; MELLO, A. C. L.; COELHO, C. D. L.; MUIR, J. P.; SAMPAIO, E. V. S. B. Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral system. **Crop Science**, v.1, n.3, p.1-24, 2016.
- CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; PONTES, L. S.; ANGHINONI, I.; SULTC, R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciências Agrônômica**, v. 45, n. 5, p. 1040-1046, 2014.
- CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R.M.; PEREIRA, R.V.G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: revisão. **Pubvet.**, v.11, n.10, p. 1036-1045, 2017.

COSTA, K. A. P.; FAQUIM, V.; OLIVEIRA, I. P. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. **Arq Bras Med Vet Zootec**, v. 62, n 1, p. 192-199, 2010.

COSTA, N. L.; GIANLUPPI, V.; MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; MAGALHÃES, J. A.; BENDAHAN, A. B. Adubação nitrogenada e consorciação de *Trachypogon plumosus* com *Stylosanthes capitata* cv. Lavradeiro sob diferentes densidades de semeadura. **Pubvet**, v. 11, n. 8, p. 808-814, 2017.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A. VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVÊDO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos** – INCT – Ciência Animal. 1ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 214p., 2012.

DETMANN, E.; VALENTE, E. E.; BATISTA, E. D.; HUHTANEN, P. An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, v. 162, p. 141-153, 2014.

EMBRAPA. Capim-Massai (*Panicum maximum* cv Massai): alternativa para diversificação de pastagens. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande – MS, (**Comunicado Técnico 69**). p.8, 2001.

FIGUEIREDO, T. S. Potencial da adubação nitrogenada em sistema agrossilvipastoril / Thaís Santos Figueiredo. – Balsas, MA, 2022. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Centro de Estudos Superiores de Balsas, Universidade Estadual do Maranhão, Balsas, 2022.

FIGUEIREDO. **Determinação de cinzas e conteúdo animal – cinzas**. 2007. 30p. Disponível em: <http://www.pfigueiredo.org/BromII_5.pdf> acesso em 22 de novembro de 2022.

HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. H. The comparative yield method for estimating dry matter yield os pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 15, p. 663-670, 1975.

INMET. (2020). Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos 2016-2021. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/gera_serie_txt_mensal.php?&mRelEstacao=82376&btnProcesso=serie&mRelDtInicio=01/01/2010&mRelDtFim=31/12/2019&mAtributos=,,,,,,,1,,,1,,,>> acesso em 23 de mar. de 2021.

JUNG, H.G., DEETZ, D.A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R., HATIFIELD, R.D. (Ed) Forage cell wall structure and digestibility. Madison : American Society of Agronomy, **Crop Sci. Society of America, Soil Sci. Society of America**, p.315-346, 1993.

PEEL, MC, FINLAYSON, BL E MCMAHON, TA: **Mapa mundial atualizado da classificação climática de Köppen-Geiger**, Hydrol. Sistema Terra. Sci., v. 11, p. 1633-1644, 2007.

LAZZARINI, I.; DETMANN, E.; SAMPAIO, C.B.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S.C.; SOUZA, M.A.; OLIVEIRA, F.A. Dinâmicas de trânsito e degradação da fibra em detergente neutro em bovinos alimentados com forragem tropical de baixa qualidade e compostos nitrogenados. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.61, p.635-647, 2009.

MACHADO, L.A.Z.; FABRÍCIO, A.C.; GOMES, A.et al. Desempenho de animais alimentados com lâminas foliares, em pastagem de capim-marandu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1609- 1616, 2008.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The desing, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. **Proceedings...** Pennsylvania: State College Press, p.1380-1385, 1952.

MOURA, E.G.; SENA, V.G.; CORRÊA, M.S.; AGUIAR, A.C.F. The importance of an alternative for sustainability of agriculture around the periphery of the Amazon rainforest. **Recent Patents Food Nutrition and Agriculture**. v. 5, p. 70-78, 2013.

OSAKI, M. Gasto médio com fertilizantes para produção de grãos dobra em um ano. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/opinioao-cepea/gasto-medio-com-fertilizantes-para-producao-de-graos-dobra-em-um-ano.aspx>> acesso em 25 de novembro de 2022.

OLIVEIRA, A.P.; OLIVEIRA, F. J. V.; SILVA, J.A.; OLIVEIRA, A.N.P.; SANTOS, R. R.; SILVA, D.F. Parcelamento e fontes de nitrogênio para produção de maxixe. **Hortic. Bras.** 28 (2). 2010.

PEDREIRA, C. G. S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. IN: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, Recife, 2002. **Anais...** Recife: SBZ, 2002.

PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.6, n.5, p.1063-1073, 1993.

POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; NEIVA, J. N. M.; ROGÉRIO, M. C. P.; BENEVIDES, Y. I.; OLIVEIRA, B. C. M. Fluxo de biomassa em capim-tanzânia sob lotação rotativa com quatro níveis de suplementação concentrada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 809-817, 2009.

SANTOS, M. R.; FONSECA, D. M.; GOMES, V. M.; SILVA, S.P.; SILVA, G. P.; REIS, M. Correlações entre características morfogênicas e estruturais em pastos de capim braquiária. **Ciências Animal Brasileira**, v.13, p. 49-56, 2012.

SOLLENBERGER, L. E.; MOORE, J. E.; ALLEN, V. G.; PEDREIRA, C. G.S. Reporting forage allowance in grazing experiments. **Crop Science**, v.45, n.3, p.896-900. 2005.

Statistical Analysis Systems - SAS 9.1.3., Cary, NC: SAS Institute Inc., 1996.

United Nations. **Department of Economic and Social Affairs**. Population Division. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights.

VAN SOEST, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed.; London: Constock Publishing Associates. 476p.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Tendências e perspectivas da pecuária bovina na Amazônia brasileira. **Amazônia: ciência e desenvolvimento**, v. 4, n 8, p. 9 – 32, 2009.