



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ESTABELECIMENTO DO GUANDU ANÃO CONSORCIADO COM
CAPIM-PIATÃ: QUALIDADE DA PASTAGEM E TEORES DE
NITROGÊNIO NO SOLO**

ANA CAROLINE PEREIRA DA FONSECA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA - DF
FEVEREIRO
2025



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANA CAROLINE PEREIRA DA FONSECA

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS
CO-ORIENTADOR: Dr. ROBÉLIO LEANDRO MARCHÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ESTABELECIMENTO DO GUANDU ANÃO CONSORCIADO COM CAPIM-PIATÃ: QUALIDADE DA PASTAGEM E TEORES DE NITROGÊNIO NO SOLO

ANA CAROLINE PEREIRA DA FONSECA

DESSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

ORIENTADORA

Dr.^a. MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS - Universidade de Brasília- UnB
e-mail: lucrecia@unb.br

CO-ORIENTADOR

Dr. ROBÉLIO LEANDRO MARCHÃO - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa Cerrados
e-mail: robelio.marchao@embrapa.br

AVALIADOR INTERNO

Dr. MARCELO FAGIOLI - Universidade de Brasília- UnB
e-mail: mfagioli@unb.br

AVALIADOR EXTERNO

Dr. SERGIO LUCIO SALOMON CABRAL FILHO - Universidade de Brasília- UnB
e-mail: slcabral@unb.br

FICHA CATALOGRÁFICA

FONSECA, Ana Caroline Pereira da “Estabelecimento do guandu anão consorciado com capim-Piatã: Qualidade da pastagem e teores de nitrogênio no solo / Ana Caroline Pereira da Fonseca; orientação de Maria Lucrecia Gerosa Ramos e Robélio Leandro Marchão. – Brasília, 2025.

65 p.

Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2025.

1. Nitrogênio. 2. *Urochloa brizantha*. 3. Piatã. 4. *Cajanus cajan*. 5. Sustentabilidade.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FONSECA, A. C. P ESTABELECIMENTO DO GUANDU ANÃO CONSORCIADO COM CAPIM-PIATÃ: QUALIDADE DA PASTAGEM E TEORES DE NITROGÊNIO NO SOLO. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, - FAV, 2025, 65 p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR (A): Ana Caroline Pereira da Fonseca

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Estabelecimento do guandu anão consorciado com capim-Piatã: Qualidade da pastagem e teores de nitrogênio no solo.

GRAU: MESTRE

ANO: 2025

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente à propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

ANA CAROLINE PEREIRA DA FONSECA

CPF: 138.327.426-62

Endereço: Rodovia BR 150, km 05, Condomínio Bem-estar, conjunto E, Casa 33. CEP: 73090-913, Sobradinho-DF, Brasil.

Telefone: (61) 99643-3683

E-mail: caroline3fonseca@hotmail.com / carolinefonsecaana@gmail.com

*Ofereço a todos os professores, pesquisadores e estudantes,
que assim como eu, se dedicam ao estudo de uma agropécua
mais sustentável!*

*À minha família, em especial minha
mãe Genoveva e meu sobrinho e
afilhado Heitor.*

Dedico.

EPÍGRAFE

Tenho-vos dito isso, para que em mim tenhais paz; no mundo tereis aflições, mas tende bom ânimo, eu venci o mundo."

— *João 16:33*

"O choro pode durar uma noite, mas a alegria vem pela manhã."

— *Salmo 30:5*

"Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar."

— *Josué 1:9*

"Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar, porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir."

— *Cora Coralina*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela concretização deste sonho, por me conceder saúde, força e disposição. Sem Ele, nada disso seria possível. Obrigada, Senhor, por me tranquilizar nos momentos mais difíceis da minha vida acadêmica e por sustentar minha caminhada com saúde e coragem.

“Até aqui nos ajudou o Senhor” – Samuel 7:12

Agradeço aos meus pais Genoveva Pereira Macedo e Otaviano Mendes da Fonseca, que sempre foram minha fonte de força e inspiração e que proporcionaram a melhor educação, apoiaram meus sonhos e se dedicaram para que eu tivesse o melhor futuro.

Aos meus padrinhos Ana Paula Pereira de Andrade e Osmar Pereira Macedo, que são minha base e sustento aqui em Brasília, e que por muitas vezes acreditaram mais em mim, do que eu mesma.

Ao meu irmão Renato e à minha cunhada Luana, por me darem o maior presente da minha vida: a honra de ser madrinha do meu primeiro sobrinho. Obrigada pelo amor, incentivo, compreensão e auxílio. Às minhas queridas e amadas vovós, Dona Ana e Dona Ducha, todo o meu amor.

Aos meus amigos, que foram meu refúgio em tantas ocasiões: Filipe Xavier, Carolyne Gabryelle, Eliza, Maryana, Evelyn, Bruna Lopes, Fernanda Matos, Leticia e Joyce por cada palavra de incentivo e força durante toda a jornada até aqui, que na maioria das vezes mesmo longe se fizeram presentes.

“Entenda que amigos vão e vem, mas nunca abra mão de uns poucos e bons. - Pedro Bial”.

Aos amigos do grupo “Agropós”, Douglas Rodrigues, Fernanda Rodrigues e, de maneira ainda mais especial, Thais Rodrigues, que compartilharam comigo todas as fases desse processo – a angústia, o medo, o choro (que muitas vezes veio para todos ao mesmo tempo) – e as boas risadas, os abraços e o crescimento acadêmico e pessoal. Vocês tornaram essa fase mais leve e feliz. Obrigada pela parceria e por todos os aprendizados, tanto os positivos quanto negativos.

Agradeço também aos meus maravilhosos “Pós Docs” Raíssa Dantas e Gustavo Cassiano que estiveram sempre dispostos e atenciosos, me auxiliando com tanta paciência, generosidade e alegria ao me auxiliarem sempre com tanta dedicação.

À Fabiana Piontekowski Ribeiro, que foi como uma mãe acadêmica ao longo dessa jornada. Desde o início, esteve ao meu lado, segurando minha mão e guiando-me com paciência e dedicação. Mais do que conhecimentos científicos, ensinou-me valores e a importância de ser uma pessoa melhor, mesmo diante dos desafios. Sou imensamente grata por seu apoio incondicional e desejo-lhe uma vida plena, repleta de felicidade e realizações.

Agradeço à todos os estagiários da nossa equipe José Alan, Alex, Rayane, Heloísa, Larissa, Ikaroh e Isabela, por todo empenho e dedicação.

Aos meus estimados e queridos orientadores, Dr. Robélio Leandro Marchão e Prof.^a Dr.^a Maria Lucrecia Gerosa Ramos, que não mediram esforços para concretizar este trabalho ao meu lado. Sempre estiveram disponíveis para sanar dúvidas e compartilhar seus conhecimentos, sem hora ou lugar. Obrigada por todo cuidado, paciência e dedicação. Foi uma honra imensurável ser orientada por vocês. Aos pesquisadores da nossa equipe, Dr.^a Arminda Moreira de Carvalho, Dr. Roberto Guimarães Junior e Dr.^a Alessandra Duarte, que também exerceram o papel de orientadores, sempre atenciosos, cuidadosos e dispostos a ajudar em todos os momentos de dúvida e inquietação, oferecendo os melhores conselhos e soluções.

Agradeço à Embrapa Cerrados e à Universidade de Brasília, por proporcionarem um ambiente de qualidade e oportunidades de estudo. Aos funcionários da Embrapa Cerrados, que não mediram esforços para que as atividades fossem desenvolvidas com êxito, meus sinceros agradecimentos: Ironei, Orlando, José Carlos, Luciano, Maurivan, Santiago, Romildo, Sr. Antonini, Jurandi, Hélio, Gilmar e Silvano.

Aos funcionários dos laboratórios, Aline, Daphne, Natália, Josias e, em especial, Francisco Marcos Delvico, que esteve sempre pronto a me socorrer nas análises e cálculos, além de ser um incentivador e professor excepcional.

À minha banca, Prof. Dr. Sérgio Lúcio Salomon Cabral Filho e Prof. Dr. Marcelo Fagioli, por gentilmente aceitarem contribuir com seus conhecimentos e tempo para avaliar este trabalho.

Sou grata a FAPDF, pela concessão da bolsa e financiamentos.

Por fim, a todos que, de alguma forma, fizeram parte deste trabalho, dividindo tempo, dedicação e cuidado: vocês constroem um mundo melhor, uma agricultura mais sustentável e realizam sonhos. Muito obrigada!

RESUMO

FONSECA, Ana Caroline Pereira da. Estabelecimento do guandu anão consorciado com capim-Piatã: Qualidade da pastagem e teores de nitrogênio no solo. 2024. 62 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Produção Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

O Brasil apresenta aproximadamente 70% de áreas de pastagens cultivadas ou plantadas, contudo, uma parcela significativa dessas áreas apresenta produtividade inferior ao seu potencial. A recuperação da capacidade produtiva dessas áreas pela introdução de leguminosas em sistemas consorciados, surge como uma estratégia promissora para a intensificação sustentável da pecuária no Cerrado. A introdução de leguminosas forrageiras em sistemas de produção tem sido amplamente estudada para melhorar a qualidade nutricional da forragem e a fertilidade do solo, reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados. No entanto, seu impacto sobre a produtividade, a composição química da forragem e a dinâmica do nitrogênio no solo ainda requer avaliações detalhadas, especialmente em solos do Cerrado. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar o estabelecimento e o desenvolvimento do *Cajanus cajan* (feijão-guandu cv. Iapar 43) em pastagens contínuas de capim *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã e sua contribuição na produtividade e no valor nutritivo da pastagem e teores de nitrogênio do solo. O estudo foi desenvolvido na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, em um Latossolo Vermelho, de textura argilosa. O delineamento experimental consistiu em blocos ao acaso com duas repetições e dois sistemas de manejo denominados: S1: pastagem contínua de gramínea, (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã), S2: pastagem consorciada com leguminosa contínua (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã consorciada com *Cajanus cajan* cv. Iapar 43). Foram avaliadas as variáveis altura, diâmetro do colmo, área foliar e produção de matéria seca da parte aérea da leguminosa aos 20, 35, 50, 65, 80, 95 e 120 dias após a emergência das plantas, além do índice de clorofila, proteína bruta, digestibilidade *in vitro*, altura dos pastos, produtividade e densidade nas gramíneas. Como variáveis de qualidade do solo foram avaliados os teores de nitrogênio mineral e nitrogênio prontamente disponível. Os resultados demonstraram que o sistema consorciado apresentou alterações estruturais e produtivas na pastagem. A produtividade total da biomassa foi maior na pastagem solteira, enquanto o consórcio favoreceu o crescimento em altura do capim BRS Piatã. O sistema consorciado resultou em teores superiores de proteína bruta e digestibilidade, indicando uma melhoria no valor nutricional da forragem. O consórcio elevou as concentrações de nitrogênio mineral e prontamente mineralizável nas camadas superficiais, demonstrando o efeito positivo da leguminosa na ciclagem de nutrientes. Esses resultados reforçam a importância do manejo adequado para equilibrar os benefícios nutricionais e estruturais da pastagem. Nesse sentido, o consórcio do capim- BRS Piatã com *Cajanus cajan* apresentou-se como uma alternativa viável para melhorar o valor nutritivo da forragem e a fertilidade do solo, destacando-se pelos incrementos nos teores de clorofila, proteína bruta e digestibilidade *in vitro*, além do nitrogênio disponível no solo.

Palavras-chave: *Cajanus cajan*, BRS Piatã, sustentabilidade, *Urochloa brizantha*,

ABSTRACT

FONSECA, Ana Caroline Pereira da. Establishment of Pigeon Pea intercropped with pythia grass: pasture quality and soil nitrogen levels. 2024. 62 p. Dissertation (Master's Degree in Agronomy - Sustainable Production) - University of Brasília, Brasília,DF,Brazil.

Brazil has approximately 70% of cultivated or planted pastures, but a significant portion of these areas are less productive than their potential. Recovering the productive capacity of these areas by introducing legumes in intercropping systems is a promising strategy for the sustainable intensification of livestock farming in the Cerrado. The introduction of forage legumes into production systems has been widely studied to improve the nutritional quality of forage and soil fertility, reducing the need for nitrogen fertilizers. However, their impact on productivity, the chemical composition of the forage and nitrogen dynamics in the soil still requires detailed evaluation, especially in Cerrado soils. In this context, the aim of this study was to evaluate the establishment and development of *Cajanus cajan* (cowpea cv. Iapar 43) in continuous pastures of *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã and its contribution to the productivity and nutritional value of the pasture and soil nitrogen content. The study was carried out in the experimental area of Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, on a Red Latosol with a clayey texture. The experimental design consisted of randomized blocks with two replications and two management systems: S1: continuous grass pasture (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã), S2: continuous legume pasture (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã combined with *Cajanus cajan* cv. Iapar 43). The variables assessed were height, stem diameter, leaf area and dry matter production of the legume's aerial part at 20, 35, 50, 65, 80, 95 and 120 days after plant emergence, as well as chlorophyll index, crude protein, in vitro digestibility, pasture height, productivity and grass density. Soil quality variables included mineral nitrogen and readily available nitrogen. The results showed that the intercropping system presented structural and productive changes in the pasture. Total biomass productivity was higher in the single pasture, while the consortium favored growth in height of the BRS Piatã grass. The intercropping system resulted in higher levels of crude protein and digestibility, indicating an improvement in the nutritional value of the forage. The consortium increased the concentrations of mineral and readily mineralizable nitrogen in the surface layers, demonstrating the positive effect of the legume on nutrient cycling. These results reinforce the importance of proper management to balance the nutritional and structural benefits of the pasture. In this sense, the intercropping of BRS Piatã grass with *Cajanus cajan* proved to be a viable alternative for improving the nutritional value of the forage and the fertility of the soil, with increases in the levels of chlorophyll, crude protein and in vitro digestibility, as well as the nitrogen available in the soil.

Keywords: *Cajanus cajan*, BRS Piatã, sustentabilidade, *Urochloa brizantha*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da área experimental na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, Brasil.

Figura 2. Mapa de localização da área experimental na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, Brasil

Figura 3. Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura máxima, média e mínima (°C) da área experimental, da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brasil, do período de novembro de 2023 a abril de 2024.

Figura 4. Experimento durante o rebaixamento da gramínea pelos animais, já em condições ideais para o plantio. **Imagem:** Robélio Leandro Marchão.

Figura 5. (A) Sistema S2 - *Cajanus cajan* com 46 dias após a semeadura (DAS) consorciada com a *Urochloa brizantha* BRS Piatã. (B) Sistema S2 - *Cajanus cajan* com 75 dias após a semeadura (DAS) consorciada com a *Urochloa brizantha* BRS Piatã ; (C) Sistema S1- *Urochloa brizantha* BRS Piatã nas mesma data da figura (A); (D) Sistema S1- Na mesma data da figura (B).

Figura 6. (A) Área demarcada para as avaliações morfológicas; **(B)** Avaliações de altura; e **(C)** Avaliação do diâmetro do caule no guandu.

Figura 7. Equipamento medidor de Área Foliar. LI-3100C (LI-COR Biosciences, 2021, Estados Unidos).

Figura 8. Análises de Proteína Bruta (PB) e Digestibilidade “in vitro” (DIVMS). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Figura 9. Demonstração da coleta do solo em profundidade de 0-10; 10-20 e 20-30 cm.

Figura 10. Placas de Elisa contendo em verde azulado o NH₄ e rosa intenso para p NO₃.

Figura 11. Rodízio dos fracos pelo método do ISNT

Figura 12. Sequência de etapas do método ISNT. Fonte: Heloisa Carvalho

Figura 11. Alturas de plantas do *Cajanus cajan* e da *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã em consórcio no sistema S2.

Figura 14. Diâmetro do colo das plantas do Feijão Guandu no sistema S2- pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*

Figura 15. Matéria seca da parte aérea do Feijão Guandu no sistema S2- pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*

Figura 16. Área foliar (AF) Feijão Guandu no sistema S2- pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*.

Figura 17. Índice de Clorofila total, A e B no capim BRS Piatã nos sistemas S1 - pastagem contínua de BRS Piatã e S2- pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

Figura 18. Teor de proteína bruta para os sistemas S1 - pastagem contínua de BRS Piatã e S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*, em três categorias no sistema S2: Pasto, Guandu e Pasto + Guandu S1 Pasto. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

Figura 19. Digestibilidade in vitro da Matéria Seca (DIVMS) para os sistemas S1 - pastagem contínua de BRS Piatã e S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*, em três categorias no sistema S2: Pasto, Guandu e Pasto + Guandu S1 Pasto. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância

Figura 20. Produtividade de forragem (Kg/MS há⁻¹) do capim BRS Piatã nos sistemas S1 - pastagem contínua de Piatã e S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância

Figura 21. Altura (cm) das plantas gramíneas nos sistemas S1 - pastagem contínua de BRS Piatã e S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância

Figura 22. Densidade (%) das plantas gramíneas nos sistemas S1 - pastagem contínua de BRS Piatã e S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

Figura 23. Teores de N mineral em diferentes profundidades para os sistemas S1 - pastagem contínua de BRS Piatã e S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*. (A); concentrações de nitrato (NO₃⁻) (B); concentrações amônio (NH₄⁺) (C); e N mineral total. O asterisco identifica diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, evidenciando os maiores teores observados por sistemas

Figura 24. Concentração de N prontamente mineralizável (N-ISNT) em diferentes profundidades para os sistemas S1 - pastagem contínua de BRS Piatã e S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*. O asterisco identifica diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, evidenciando os maiores teores observados por sistemas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico dos dois sistemas de uso da terra selecionados para este trabalho de a 2024.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

NH₃	Amônia
NH₄	Amônio
AF	Área foliar
C	Carbono
KCL	Cloreto de potássio
CV	Cultivar
Dm	Diâmetro
DAS	Dias após a semeadura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa de Agropecuária
INMET	Instituto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
ILP	Integração lavoura-pecuária
MOS	Matéria orgânica do solo
MS	Matéria seca
MO	Matéria orgânica
MT	Mato Grosso
CH₄	Metano
M	Metros
Mm	Milímetros
μL	Nanômetros
NO₃	Nitrato
N	Nitrogênio
N₂O	Óxido nitroso
Ppm	Partes por milhão
%	Porcentagem
SPD	Sistema Plantio Direto
T	Temperatura
V	Volume
FBN	Fixação biológica de nitrogênio

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
2. HIPÓTESE	19
3. OBJETIVO GERAL	19
3.1 Objetivos específicos	19
4. REVISÃO DE LITERATURA	20
4.1 Agropecuária no Cerrado.....	20
4.2 Uso de leguminosas forrageiras em sistemas pecuários.....	22
4.3 Espécies forrageiras utilizadas no trabalho.....	23
4.2 Aspectos de qualidade do solo relacionados ao sistema plantio direto e ao uso de leguminosas	25
5. MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1 Características e histórico da área experimental	29
5.2 Implantação da leguminosa e avaliações da pastagem em consórcio	34
5.3 Avaliações do nitrogênio do solo em diferentes compartimentos.....	38
6. ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
7.1 Características morfológicas e produtividade do <i>Cajanus cajan</i> em pastagens consorciadas com capim BRS Piatã.....	43
7.2 Composição química da pastagem solteira e consorciada com <i>Cajanus cajan</i>	46
7.3 Produtividade da pastagem solteira e consorciada com <i>Cajanus cajan</i>	49
8. CONCLUSÕES	55
9. REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensão de aproximadamente 160 milhões de hectares destinados a pastagens, dos quais cerca de 110 milhões de hectares (68%) envolvem pastagens (IBGE, 2022). Contudo, uma parcela significativa dessas áreas apresenta produtividade inferior ao seu potencial. A recuperação da capacidade produtiva dessas áreas, seja por meio da manutenção das espécies ou cultivares, ou pela introdução de leguminosas em sistemas consorciados, surge como uma estratégia promissora para a intensificação sustentável da pecuária no bioma Cerrado, que é o segundo maior bioma do Brasil, estendendo-se por aproximadamente 205 milhões de hectares no país (NOBREGA et al., 2018). Este bioma é vasto e extremamente diversificado, originalmente cobrindo cerca de 22% do território nacional, e é reconhecido pela sua alta biodiversidade (BELMOK et al., 2019), além de desempenhar um papel estratégico, concentrando a maior área destinada à produção de alimentos no país (CARVALHO et al., 2023).

A substituição de vegetação nativa por pastagens e áreas agrícolas tem sido a principal forma de uso e ocupação dos solos no Cerrado, se consolidando como a principal região produtora de grãos no Brasil (DIAS et al., 2019). Este bioma destaca-se também como uma das mais relevantes fronteiras agrícolas em nível global (BUAINAIN et al., 2017; MMA 2025), como o agronegócio desempenha um papel central na economia do país, onde gera numerosos empregos nas cidades e no campo, além de sustentar uma parcela importante da população mundial por meio de exportação (MONTEIRO, 2024).

De acordo com dados do relatório da ABIEC (2023) (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes), em 2022, o Brasil apresentou um aumento na taxa de ocupação pecuária, impulsionado pelo crescimento de rebanhos em cerca de 3,3%, totalizando cerca de 202 milhões de cabeças de gado. Paralelamente, houve uma redução de 5,7% na área destinada às pastagens, que passou a abranger aproximadamente 154 milhões de hectares. Esse cenário resultou em uma densidade média de 1,32 cabeça por hectare, o que ocasionou em um aumento da densidade de animais, o que resultou em maior produtividade. Essa eficiência se torna possível por meio da adoção de tecnologias, boas práticas de manejo mais eficientes e estratégias de agricultura de baixo carbono, como a recuperação de pastagens degradadas, a intensificação sustentável com auxílio da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e integração-lavoura-pecuária (ILP). Essas

iniciativas demonstram que é viável atender à crescente demanda nacional e internacional por proteína bovina de maneira sustentável, conciliando a produção com a conservação da biodiversidade, a mitigação das mudanças climáticas e a promoção da segurança alimentar global (ABIEC, 2023).

O desenvolvimento de pesquisas possibilitou a introdução de novas cultivares e híbridos, bem como a implementação de sistemas de manejo mais eficientes e intensivos (DE SOUZA et al., 2019). Nesse sentido a utilização de sistemas de rotação e consorciação de culturas anuais e pastagens promovem o aumento no teor de carbono orgânico do solo, protegendo-o contra a compactação e variações na temperatura e aumentam a capacidade de armazenamento de água. Esses sistemas também se destacam pela maior produção de matéria seca devido à maior eficiência do sistema radicular das gramíneas na recuperação dos nutrientes lixiviados, reciclando-os para a superfície e a maior entrada de N via leguminosas fixadoras de nitrogênio atmosférico (SATO et al., 2021).

No Brasil, o feijão-guandu (*Cajanus cajan*) se destaca principalmente por seu uso como adubo verde, devido à sua capacidade de gerar elevada produção de biomassa, associada a uma alta taxa de mineralização no solo devido ao alto teor de nitrogênio em suas folhas, o que favorece o desenvolvimento da cultura principal, seja em sistemas de consórcio ou em sucessão (ABDALLA et al., 2019). O guandu é uma leguminosa arbustiva extremamente reconhecida por suas especificidades de usos. Dentre suas características, destaca-se a resistência à seca, atribuída ao seu sistema radicular profundo e bem desenvolvido, além da capacidade de estabelecimento de associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, destacando-se como uma leguminosa forrageira com potencial para ser consorciada com as gramíneas durante períodos críticos de baixa produtividade.

As leguminosas possuem grande relevância na alimentação animal, devido às suas características bromatológicas e ao elevado teor de proteína, que contribui para a suplementação nutricional em sistemas de produção animal (ALMEIDA, 2019). Como existe muitas variedades, as plantas de *Cajanus cajan* apresentam grande variação de porte, hábito de crescimento, características de sementes e respostas a fotoperíodo (DANTAS et al, 2021). Em síntese, o *Cajanus cajan* destaca-se como uma opção sustentável e eficiente para a prática da adubação verde, pois favorece o aumento da fertilidade do solo, a reciclagem de nutrientes e a diminuição da dependência de fertilizantes químicos (PANISSON et al., 2020). Seus benefícios incluem a melhoria da

estrutura do solo, maior retenção de água, incremento na produtividade agrícola e fornecimento de alimentos para os animais (PEIXOTO et al., 2023). Assim, a utilização do *Cajanus cajan* como adubo verde configura-se como uma estratégia promissora para a construção de sistemas agrícolas mais resilientes. Contudo, torna-se essencial buscar estratégias que reduzam a quantidade de fertilizantes minerais aplicados, priorizando o incremento da eficiência no uso desses insumos. Com o aceleramento do dinamismo na agricultura no passar dos anos os produtores têm buscado práticas que promovam a melhoria do potencial produtivo dos sistemas agrícolas, o que evidencia a utilização da adubação verde (PANISSON et al., 2020; CARVALHO et al., 2023).

Nesse contexto, a avaliação do potencial de cada espécie em diferentes condições ambientais, fornece subsídios para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais adequados (ALMEIDA, 2019). As leguminosas forrageiras abrangem características produtivas, morfológicas e nutricionais, tornam-se uma alternativa importante quando incorporada aos sistemas integrados, pois surge como uma alternativa sustentável para reduzir a vulnerabilidade das atividades agropecuárias, que promove práticas conservacionistas de manejo do solo e diversificação produtiva (OLIVEIRA et al., 2017; AMADORI et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023).

2. HIPOTÉSE

A introdução do *Cajanus cajan* em uma pastagem contínua de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã promove melhorias na produtividade e valor nutritivo da pastagem e teores de nitrogênio do solo.

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar o estabelecimento e o desenvolvimento do *Cajanus cajan* (feijão-guandu cv. Iapar 43) em pastagens contínuas de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã, a sua contribuição na produtividade e no valor nutritivo da pastagem consorciada e teores de nitrogênio no solo em comparação à pastagem solteira.

3.1 Objetivos específicos

- Avaliar variáveis morfológicas do *Cajanus cajan* em pastagens consorciadas com *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã;
- Mensurar a composição química da pastagem consorciada com *Cajanus cajan* e pastagem solteira;
- Determinar a produção de massa seca de forragem da pastagem consorciada com *Cajanus cajan* e pastagem solteira;
- Estimar no solo o nitrogênio prontamente mineralizável, ou N-aminoaçúcar e o N-mineral (nitrato de amônio) em profundidade, nas pastagens consorciada e solteira.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Agropecuária no Cerrado

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, estendendo-se por aproximadamente 205 milhões de hectares entre os estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins, além do Distrito Federal, com uma área total de aproximadamente 2 milhões de quilômetros quadrados. As altitudes do bioma variam de 300 m, como a baixada Cuiabana (MT), a mais de 1600 m na Chapada dos Veadeiros (GO) (RIBEIRO, 2008). O clima é classificado como Aw (clima tropical úmido) conforme a classificação de Köppen, com invernos secos de abril a setembro e verões chuvosos e quentes entre outubro e março. A precipitação anual varia de 900 a 1400 mm e as temperaturas de 22 a 27° C (“INMET”, 2024). Os solos predominantes dessa região são Latossolos. Esse bioma é vasto e extremamente diversificado, originalmente cobrindo cerca de 22% do território do país, e é reconhecido pela sua alta biodiversidade e ampla diversidade fisionômica, variando desde formações florestais densas, conhecidas como cerradão, até áreas caracterizadas por vegetação arbustiva e campos nativos, denominadas cerrado típico, e sendo ainda um dos 35 *hotspots* mundiais (BOY et al., 2018; BELMOK et al., 2019).

Historicamente, a substituição de vegetação nativa por pastagens e áreas agrícolas tem sido a principal forma de uso e ocupação dos solos no Cerrado, se consolidando como a principal região produtora de grãos no Brasil (DIAS et al., 2019). Além disso, o Cerrado destaca-se como uma das mais relevantes fronteiras agrícolas em nível global (BUAINAIN et al., 2017; MMA 2025), com o agronegócio desempenhando um papel central na economia do país, onde gera numerosos empregos nas cidades e no campo, além de sustentar uma parcela significativa da população mundial por meio de exportação (MONTEIRO, 2024).

De acordo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o rebanho bovino nacional ultrapassou 234 milhões de cabeças, com 33,6% desse total concentrado na região Centro-Oeste. O estado de Mato Grosso se destaca por possuir o maior número efetivo de bovinos no país. O censo agropecuário também revelou uma variação no crescimento dos rebanhos entre as regiões. Enquanto as regiões Sul, Sudeste e Nordeste apresentam rebanhos estabilizados, as regiões Centro-Oeste e Norte experimentam um crescimento acelerado.

A indústria brasileira de carne bovina também ocupa uma posição de destaque no mercado internacional. Conforme Ferreira e Vieira Filho (2023), o Brasil, que anteriormente ocupava a décima segunda posição no ranking mundial das cabeças de gado, tornou-se o maior exportador de carne, superando os Estados Unidos, Austrália e Argentina, seus principais concorrentes. Foi o quarto maior produtor de leite do mundo, produzindo cerca de 34,23 milhões de toneladas de leite (IFCN, 2018).

Dados do IBGE (2022) indicam que o setor ocupa cerca de 350 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 172 milhões são destinados a pastagens que são a principal fonte de alimentação para o rebanho bovino brasileiro e representam, na maioria dos sistemas, a única fonte de forragem (PEREIRA BARSOTTI et al., 2024). A degradação dessas pastagens tem mostrado um desafio significativo para a pecuária brasileira, uma vez que a produção é desenvolvida majoritariamente em pastagens, que afeta diretamente a sustentabilidade do sistema produtivo.

De acordo com dados do relatório da ABIEC (2023), em 2022, o Brasil apresentou um aumento na taxa de ocupação pecuária, impulsionado pelo crescimento de rebanhos em aproximadamente 3,3%, totalizando cerca de 202 milhões de cabeças. Paralelamente, houve uma redução de 5,7% na área destinada às pastagens, que passou a abranger aproximadamente 154 milhões de hectares. Esse cenário resultou em uma densidade média de 1,32 cabeça por hectare, com a ocorrência de maior quantidade de animais e uma menor área, aumentando a produtividade. Essa eficiência se tornou possível por meio da adoção de tecnologias, boas práticas de manejo mais eficientes e estratégias de agricultura de baixo carbono, como a recuperação de pastagens degradadas, a intensificação sustentável com auxílio da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e integração-lavoura-pecuária (ILP). Essas iniciativas demonstram que é viável atender à crescente demanda nacional e internacional por proteína bovina de maneira sustentável, conciliando a produção com a preservação da biodiversidade, a mitigação das mudanças climáticas e a promoção da segurança alimentar global (ABIEC, 2023). Esses sistemas integrados podem ocorrer por meio de plantios consorciados, sequenciais ou rotacionados, otimizando o uso do solo e promovendo a sustentabilidade e a eficiência produtiva (MARCHÃO et al., 2024).

A melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos é uma questão fundamental para o desenvolvimento de sistemas de produção agrícola mais sustentáveis (NASCIMENTO et al., 2019; SOARES et al., 2019). Pastagens bem manejadas possuem o potencial de aumentar o acúmulo de carbono no solo, contribuindo,

de forma indireta, para a mitigação das mudanças climáticas, ao promover o armazenamento de carbono e reduzir as emissões líquidas de gases de efeito estufa (LOPES et al., 2023). De acordo com as recomendações do ZARC (Zoneamento Agrícola de Risco Climático), há várias culturas anuais que podem ser usadas para substituir (ou integrar) pastagens cultivadas com sinais de degradação. O número de culturas anuais potenciais varia de 17 a 40, dependendo do estado. Que corrobora que essa tecnologia do consórcio de gramíneas com leguminosas é uma das principais estratégias para revitalização de pastagens degradadas e/ou baixo potencial (BOLFE et al., 2024).

4.2 Uso de leguminosas forrageiras em sistemas pecuários

A pecuária no Brasil é predominantemente sustentada por pastagens, que abrange uma área superior a 160 milhões de hectares (ABIEC, 2023). Dados indicam que entre 50% e 70% dessas áreas apresentem diferentes níveis de degradação (DIAS-FILHO, 2014; FERREIRA, 2024). A adoção de estratégias para a recuperação e manejo sustentável das pastagens torna-se fundamental para a melhoria da produtividade e a conservação dos recursos naturais no país. À luz disso, políticas públicas externas para a sustentabilidade do setor agropecuário tornam-se essenciais para viabilizar a recuperação dessas áreas. Entre essas iniciativas, destaca-se o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), que promove ações para manter o estímulo à adoção e manutenção de sistemas agropecuários conservacionistas e sustentáveis de produção, com aumento da produtividade e renda, da resiliência e do controle das emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2021).

A recuperação sustentável de pastagens degradadas exige estratégias que reduzam a dependência de insumos externos e promovam a conservação dos recursos naturais. Para isso, a adaptação de agroecossistemas com maior diversidade de espécies e estabilidade produtiva é fundamental, pois favorece a reciclagem eficiente de nutrientes e reduz perdas, além de contribuir para a proteção do solo contra a erosão. A adoção de práticas como o preparo mínimo ou a ausência de revolvimento do solo também auxilia na manutenção da estrutura e funcionalidade do ambiente produtivo (MATTA et al., 2024).

O manejo inapropriado da forrageira associada a baixos níveis de fertilidade e ausência de práticas de conservação do solo são os principais fatores para as baixas produtividades das pastagens do cerrado (OLIVEIRA et al., 2017), comprometendo ainda

o desempenho animal bovino na fase de engorda, impactando diretamente a produtividade da carne.

Portanto, a introdução de leguminosas forrageiras no sistema de produção representa uma alternativa viável, uma vez que favorece a interação com especificações estabelecidas de nitrito, melhorando a fertilidade do solo e a sustentabilidade da produção (OLIVEIRA et al., 2017). A redução dos custos de produção começa na reforma dos pastos em que na semeadura direta, não se utiliza a adubação química nitrogenada, pois grande parte do N é fornecido através da fixação biológica da leguminosa (AMARAL, 2023). As pastagens consorciadas apresentam vantagens econômicas significativas, incluindo menor custo inicial, redução no nível de risco e custos de produção mais baixos por unidade de produto animal (OJEDA et al., 2022) quando comparados às pastagens exclusivamente contínuas (OLIVEIRA et al., 2024). Estudos que avaliaram o uso de leguminosas em sistemas consorciados evidenciaram um incremento na produtividade e valores nutricionais da forragem (REIN et al., 2022).

4.3 Espécies forrageiras utilizadas no trabalho

O feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.), é um arbusto naturalizado no Brasil, originário da Índia, pertencente à família Fabaceae (DUTRA, 2020; MOREIRA et al., 2022), de porte arbustivo, anual ou semiperene, atingindo de dois a três anos de idade, quando podada anualmente. Sua altura média de três a quatro metros a dependerem de sua variedade (DE AGUIAR et al., 2023). O *Cajanus cajan* cv. Iapar 43 é uma variedade de feijão guandu anão, de porte arbustivo ereto, com altura média de 1,00 e 1,20 m, com um ciclo que pode variar de 150 a 360 dias, atingindo o florescimento pleno entre 90 e 120 dias e apresenta como principal característica resistência a seca, frio, sombreamento e potencial de proteína bruta de massa seca de 16 a 20%, destaca-se como uma das principais leguminosas forrageiras cultivadas em regiões tropicais e subtropicais (BEHERA et al., 2020; CARVALHO et al., 2024). Em diversos países, seus grãos são utilizados na alimentação humana.

A introdução do *Cajanus cajan* por meio da sobressemeadura em pastagens constitui uma estratégia viável para a recuperação de áreas degradadas (OLIVEIRA et al., 2017). Essa prática permite o estabelecimento de um consórcio com gramíneas, especialmente com espécies do gênero *Urochloa* e *Panicum*, como a braquiária BRS Piatã e BRS Zuri, promovendo benefícios agrônômicos, zootécnicos e ambientais, tais como a

melhoria da fertilidade do solo, a fixação biológica de nitrogênio e o aumento da disponibilidade de biomassa para o pastejo (EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE, 2022).

No âmbito da alimentação animal, o guandu apresenta múltiplas aplicações, como em pastagens consorciadas, forragem verde, feno e componentes de misturas para produção de silagem (MOURA NETO, 2021); é importante para alimentação animal, durante a estação da seca e fornece forragem de alto teor de proteína, pois é palatável somente após o florescimento que ocorre nessa mesma época, ao final da estação o material não consumido pelos animais é roçado e permanece na área servido de adubo verde, disponibilizando cerca de 200 kg/ha de N a gramínea (OLIVEIRA et al., 2017). Esta espécie é importante para a recuperação de áreas degradadas devido seu sistema radicular profundo e ramificado, permitindo sua resistência ao estresse hídrico, favorece o rompimento de camadas compactadas no solo, aumenta o teor de matéria orgânica (MO), promove a ciclagem de nutrientes e cobertura do solo, que previne os processos erosivos (PEIXOTO et al., 2023). Além disso, é uma planta resistente às condições adversas de clima e solo, como as encontradas no cerrado brasileiro.

As gramíneas do gênero *Urochloa* são amplamente cultivadas no Brasil devido à diversidade de espécies e às variações em suas características morfofisiológicas. Apresentam elevada capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, podendo se desenvolver em áreas de várzea sujeitas ao alagamento, margens de florestas de baixa densidade e espécies até em regiões de clima semiárido. Além disso, destacam-se pela tolerância a solos com fertilidade moderada a baixa e por sua resistência a condições de drenagem deficiente, tornando-se uma opção estratégica para sistemas de produção peculiares em diferentes biomas.

A espécie *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã foi lançada pela Embrapa e parceiros em 2006 (EMBRAPA, 2009). A cultivar BRS Piatã, cujo nome tem origem tupi-guarani e significa "fortaleza", recebeu essa denominação em referência à sua robustez e elevada produtividade. O capim BRS Piatã caracteriza-se por um crescimento ereto e formação de touceiras de porte médio, além de possuir colmos mais finos, o que facilitam seu manejo. Essa cultivar é adaptada a solos de fertilidade média a alta em regiões tropicais do Brasil, onde tradicionalmente são utilizadas outras cultivares de *Urochloa brizantha*, como Marandu e Xaraés. Estudos feitos em diferentes regiões de pecuária do Brasil Central revelaram que a BRS Piatã apresenta desempenho produtivo semelhante a essas cultivares, porém com características morfológicas e agrônômicas distintas, tornando-se uma alternativa viável para a diversificação de pastagens, sendo uma ótima alternativa

para o sistema ILP por apresentar crescimento inicial mais lento, fácil dessecação, características favoráveis de manejo, arquitetura de planta e bom acúmulo de forragem no período seco (DOS SANTOS et al., 2024) Outro aspecto relevante é sua boa adaptação ao consórcio com leguminosas e culturas anuais, como milho e sorgo, ampliando suas possibilidades de uso em sistemas produtivos sustentáveis.

Atualmente, os sistemas de manejo mais adotados pelos produtores no Brasil são a lotação contínua, o pastejo rotacionado e integrado sendo essas práticas extremamente empregadas na exploração de pastagens (CASTRO et al., 2021). De acordo com Volenec e Nelson (ROCHA, 2017), o conhecimento aprofundado sobre a morfologia das plantas forrageiras é essencial para a seleção das espécies mais adequadas à produção animal sob pastejo, possibilitando a adoção de estratégias de manejo que maximizem seu desempenho. Nesse sentido, compreender os processos de crescimento e desenvolvimento morfológico das espécies forrageiras antes e depois do pastejo, bem como suas respostas morfofisiológicas às condições ambientais, do solo e ao manejo adotado, é fundamental para alcançar elevada produtividade em sistemas de produção a pasto (ROCHA, 2017; DOS SANTOS et al., 2024).

A estrutura do pasto é definida como a disposição dos componentes da parte aérea das plantas dentro de uma comunidade forrageira, diversas características podem ser utilizadas para descrever essa estrutura, incluindo altura, densidade de forragem, área foliar (AF) (ROCHA, 2022). Outros indicadores de qualidade como a clorofila das folhas das plantas podem ser tão eficazes quanto a mensuração do teor de proteína bruta, e de mais fácil, rápida e barata aferição.

Nesse contexto, conhecer a estrutura do sistema (gramínea + leguminosa; gramínea; pasto contínuo) pode desempenhar um papel fundamental na resposta das plantas e dos animais, sendo um fator determinante para o sucesso do sistema produtivo. Por essa razão, sua análise é essencial no desenvolvimento e na adoção de estratégias de manejo do pastejo, que melhora a produtividade.

4.2 Aspectos de qualidade do solo relacionados ao sistema plantio direto e ao uso de leguminosas

A produção vegetal é influenciada por fatores como condições climáticas, características do solo e manejo da adubação. As recomendações oficiais para adubação foram elaboradas com base em estudos de avaliação de nutrientes e respostas das plantas, principalmente entre as décadas de 1960 e 1980 (PRIEBE et al., 2018). Durante esse

período, o manejo agrícola era inteiramente baseado no revolvimento do solo, conhecido como Sistema Convencional de preparo do solo e as cultivares disponíveis apresentavam características genéticas específicas. Com o avanço das pesquisas, novas cultivares e híbridos foram introduzidos, assim como sistemas de manejo inovadores, destacando-se o Sistema Plantio Direto (SPD). A adoção do SPD contribuiu para o aumento gradual do teor de MO na camada superficial do solo, e promove maior atividade microbológica. (GAWESA; HALINIARZ, 2021). O SPD é amplamente reconhecido por pesquisadores e especialistas como uma das estratégias mais eficazes para mitigar os impactos negativos associados ao manejo convencional, particularmente em situações de degradação do solo. Entre os benefícios proporcionados pelo SPD, destacam-se a redução significativa da erosão e a melhoria na fertilidade do solo, com ganhos expressivos nos níveis de fósforo e MO (DE OLIVEIRA et al., 2020).

Além disso, o SPD contribui para a redução dos custos de produção, prejuízo ao desgaste de máquinas agrícolas, como tratores, e promove economia de combustível devido à ausência das operações de preparo do solo. Esses benefícios tornam o SPD uma alternativa sustentável e eficiente frente aos desafios da agricultura moderna (FRANCHINI et al., 2006).

Essa mudança pode alterar também a dinâmica dos nutrientes, especialmente o N, cuja disponibilidade para as plantas pode ser temporariamente reduzida devido à imobilização de nutrientes pelos microrganismos. No entanto, em solos com maior tempo de adoção do SPD, a mineralização do N tende a superar sua imobilização (SÁ, 1993). O N, em geral, é o nutriente que mais limita a produção das pastagens e o de maior custo entre os adubos químicos (BONAMIGO, 1999). A adubação nitrogenada realizada em cobertura, aliada à adubação inicial no estabelecimento da cultura, exerce um impacto significativo nos custos de produção, especialmente diante do aumento dos preços contínuos dos fertilizantes (OLIVEIRA et al., 2017). O N é um dos macronutrientes mais limitantes para o crescimento vegetal, desempenha um papel essencial na síntese de proteínas, enzimas e clorofila, que causa impacto direto a produtividade das forrageiras (TAIZ et al., 2017). No entanto, em solos do Cerrado, a disponibilidade de N frequentemente é baixa devido à sua alta susceptibilidade à lixiviação e aos baixos teores de MO, tornando a adubação nitrogenada uma prática comum para garantir a manutenção da produtividade das pastagens (REIS et al., 2020).

O estudo das frações do N do solo, especialmente as mais lábeis, auxilia no entendimento da resposta das gramíneas ao N em SPD, integrados e consorciados tendo

em vista que grande parte do N absorvido pelas plantas é proveniente do solo. Essas frações de N no solo podem ser analisadas por meio de suas diferentes formas: a fração mineral, composta por amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) representa a principal fonte assimilável pelas plantas (SOUZA et al., 2021). O amônio tende a ser retido nos colóides do solo, onde reduz perdas por lixiviação, enquanto o nitrato, por ser altamente móvel, pode ser rapidamente perdido em solos arenosos ou sob alta precipitação (CANTARELLA et al., 2018). A mineralização da MO libera frações de N que podem ser gradualmente utilizadas pelas plantas, e influencia a produtividade da pastagem e a sustentabilidade do sistema produtivo.

A introdução de leguminosas forrageiras, como o *Cajanus cajan*, pode modificar a dinâmica do N no solo. Essa espécie possui a capacidade de fixar biologicamente o N atmosférico por meio de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, reduzindo a dependência de fertilizantes nitrogenados e promovendo melhorias na fertilidade do solo a longo prazo (ALMEIDA et al., 2020). Além disso, a decomposição da biomassa do guandu contribui para a ciclagem de nutrientes, e libera N de forma gradual para a gramínea consorciada e passa a funcionar como um adubo verde, disponibilizando mais de 200 kg/ha de N à pastagem. (OLIVEIRA et al., 2017).

Outra ferramenta importante para avaliar a disponibilidade de N no solo é o Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT), que estima o potencial de mineralização do N orgânico e sua conversão em formas disponíveis para as plantas (MULVANEY et al., 2001). Esse indicador é útil para prever a necessidade de adubação nitrogenada e avaliar o impacto da introdução de leguminosas na fertilidade do solo. Em sistemas consorciados, o ISNT pode fornecer informações sobre a eficiência da fixação biológica de N e sua incorporação ao sistema solo-planta.

A qualidade do solo pode ser descrita pela sua capacidade de seleção de funções essenciais em sistemas agrícolas ou naturais, incluindo o suporte à produção de plantas e animais, a preservação e melhoria da qualidade ambiental. Entre os indicadores propostos para avaliar a qualidade do solo, destaca-se a biomassa microbiana, devido ao seu papel crucial na dinâmica de ciclagem da matéria orgânica do solo (MOS) (NGUYEN; MARSCHNER, 2017).

Estudos indicam que Latossolos altamente produtivos possuem elevada biomassa microbiana que estão relacionadas com altos níveis de MOS, que são importantes para uma maior qualidade do solo (COELHO, 2020). As pastagens, por sua vez, são reconhecidas pelo retorno significativo de carbono e nitrogênio ao solo, principalmente

na função da pastagem animal (COSTA et al., 2015). Os microrganismos desempenham um papel fundamental na transformação desse nitrogênio, influenciando diretamente na sua dinâmica no solo. A adoção da consorciação entre *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã e *Cajanus cajan* pode representar uma estratégia sustentável para a recuperação de pastagens degradadas, reduzindo os custos com fertilização nitrogenada e promovendo um sistema produtivo mais eficiente. Além disso, a maior disponibilidade de N pode melhorar a composição bromatológica da gramínea, elevando seu teor proteico e digestibilidade, impactando positivamente a nutrição animal (FONSECA et al., 2021). Dessa forma, a introdução de leguminosas em sistemas de pastagem contínua não apenas contribui para o aumento da produtividade, mas também favorece a sustentabilidade dos sistemas pecuários no Cerrado.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Características e histórico da área experimental

O experimento foi implantado na Embrapa Cerrados, em 1991, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. Os tratamentos foram inicialmente constituídos a partir da combinação de sistemas de pastagens e lavoura rotacionados e contínuos, sob dois níveis de fertilidade e preparo do solo (Figura 1). Compreende uma área de 14 hectares com delineamento experimental de blocos ao acaso com duas repetições, a área de cada parcela é de 40 x 100 m.

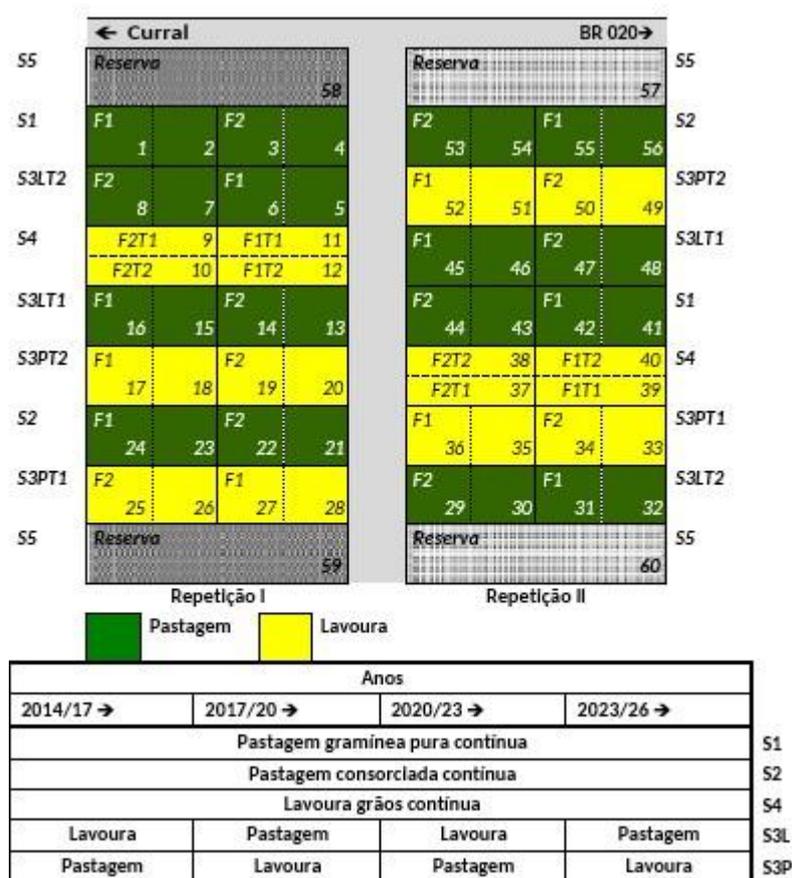


Figura 1. Croqui do experimento de longa duração em sistemas de integração baseados na rotação lavoura pastagem na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, Brasil.

O experimento de longo prazo foi delineado para gerar conjuntos de dados seriados no tempo para os efeitos dos componentes anual e perene sobre as condições edáficas e agrônômicas. Nos sistemas rotacionados lavoura/pasto um ciclo de quatro anos (3 safras) foi proposto para permitir a geração de dados em número suficiente para descrever as externalidades de interesse. Sistemas contínuos de uso da terra também foram propostos

em contraste aos sistemas rotacionados. O experimento é dinâmico e modificações no manejo e tratos culturais são introduzidas ao longo do tempo para simular condições reais de fazenda e incorporar novas tecnologias, tais como novas práticas de manejo, insumos, máquinas agrícolas, etc. O ciclo de culturas anuais baseia-se na rotação ou sucessão gramínea/leguminosa predominando as culturas da soja, milho e sorgo. Nos sistemas de lavoura contínua (S4) e integrados (S3) em plantio direto (T2) utilizam-se diferentes sistemas de consórcio (Santa Fé, Sobressemeadura, Antecipe, etc) de duplo propósito na fase agrícola onde as plantas forrageiras são utilizadas como planta de cobertura para o sistema plantio direto (sistema S4) e como pasto de entressafra no sistema integrado (“boi safrinha” com pastejo de inverno no S3). A adubação das culturas e das pastagens segue as tabelas de recomendações da própria Embrapa Cerrados. Até 2013 os sistemas continham nas subparcelas dois níveis de fertilização (F1 50% da adubação recomendada e F2 100% da adubação recomendada) que foram empregados com o objetivo de avaliar em cada sistema a eficiência de uso de nutrientes. Desde 2013 todas as parcelas passaram a receber 100% da adubação recomendada. As avaliações do desempenho animal nos sistemas de pastagem e integrados (rotacionados) consiste basicamente na avaliação do desempenho de bovinos da raça nelore BRGN (programa de melhoramento genético da Embrapa Cerrados) conforme a categoria da disponibilidade de animais em número suficiente para atender a taxa de lotação dimensionada. O sistema de pastejo que vem sendo utilizado é o alternado entre os blocos. A pressão de pastejo será a mesma para os dois níveis de fertilidade ajustando-se a carga 2 animais. A taxa de lotação é dimensionada de acordo com a disponibilidade de forragem. Além dos animais testes normalmente são utilizados animais de ajuste. Se a forragem disponível de um determinado tratamento não permitir ajustar a pressão de pastejo desejada com os animais testes então o pastejo é interrompido.

Neste trabalho foram selecionados apenas dois sistemas de uso da terra: S1= Pastagem contínua de gramínea pura; S2= Pastagem contínua consorciada com leguminosas. Desde a implantação da área o sistema S2 vem sendo cultivado com a presença de espécies leguminosas e desde 2008 diferentes cultivares de *Cajanus cajan* vem sendo testadas na área com a reintrodução sendo necessária a cada 3-4 anos. A área de estudo está localizada na região central do Brasil, bioma Cerrado, 15° 35' S e 47° 42' 30" W.Gr., a uma altitude de 1200 m (Figura 2).

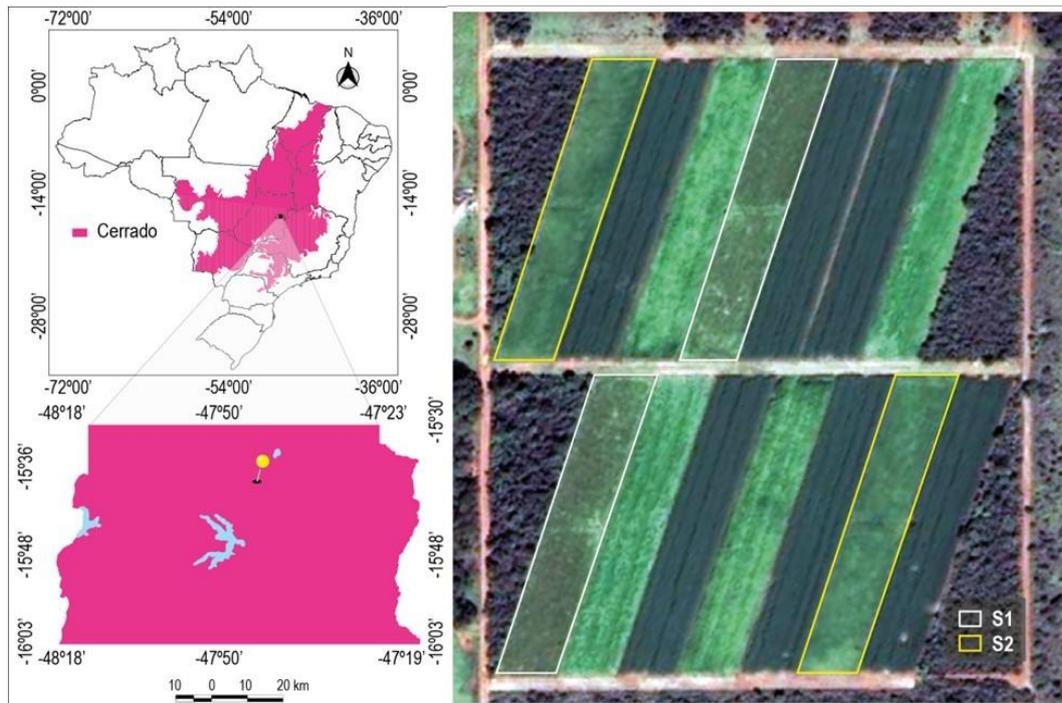


Figura 2. Mapa de localização da área experimental na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, Brasil.

A Tabela 1 apresenta o histórico das culturas cultivadas nos 33 anos do experimento nos sistemas estudados.

Tabela 1. Histórico dos dois sistemas de uso da terra selecionados para este trabalho desde 1991 a 2024. (Continua).

S1- Pastagem contínua degramínea pura		S2- Pastagem contínua consorciada com leguminosas contínua	
Ano Agrícola	Cultura	Cultura	
1991	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1992	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1993	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1994	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1995	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1996	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1997	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1998	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
1999	<i>Andropogon</i>	<i>Andropogon</i>	
2000	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2001	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2002	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2003	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2004	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2005	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2006	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2007	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> + <i>Stylosanthes guianenses</i> cv. Minerão	
2008	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> cv. Basilisk + <i>Cajanus cajan</i>	
2009	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> cv. Basilisk + <i>Cajanus cajan</i>	
2010	<i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Urochloa decumbes</i> cv. Basilisk + <i>Cajanus cajan</i>	
2011	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	
2012	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	
2013	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	
2014	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	BRS <i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv Iapar 43+ linha de BRS Mandarin	

Piatã

Tabela 1. Histórico dos dois sistemas de uso da terra selecionados para este trabalho desde 1991 a 2024. (Continua)

S1- Pastagem contínua degramínea pura		S2- Pastagem contínua consorciada com leguminosas contínua	
Ano Agrícola	Cultura	Cultura	
2015	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	
2016	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv Iapar 43+ linha de BRS Mandarim	
2017	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv Iapar 43+ linha de BRS Mandarim	
2018	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv. BRS Mandarim	
2019	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv. BRS Mandarim	
2020	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	Piatã <i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv. BRS Mandarim	
2021	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv. Iapar 43 +BRS Mandarim	
2022	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv. Iapar 43 +BRS Mandarim	
2023	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	
2024	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã + <i>Cajanus cajan</i> cv, Iapar 4	

* Adaptado e modificado de Sá (2011)

O clima da região é estacional, do tipo Aw-tropical chuvoso (Köppen), com dois períodos bem definidos e presença de verões chuvosos, de outubro a março, correspondente ao período chuvoso, e invernos secos, de abril a setembro, correspondente ao período seco. As temperaturas máximas, médias e mínimas oscilaram entre 30,1 °C, 23,2 °C e 18,7 °C, respectivamente. A precipitação média mensal foi de 288,45 mm, com o período chuvoso concentrado entre janeiro e março, totalizando um acumulado de 1.153,6 mm durante o período avaliado (Figuras 3) conforme descrito na norma climatológica da estação da Embrapa Cerrados.

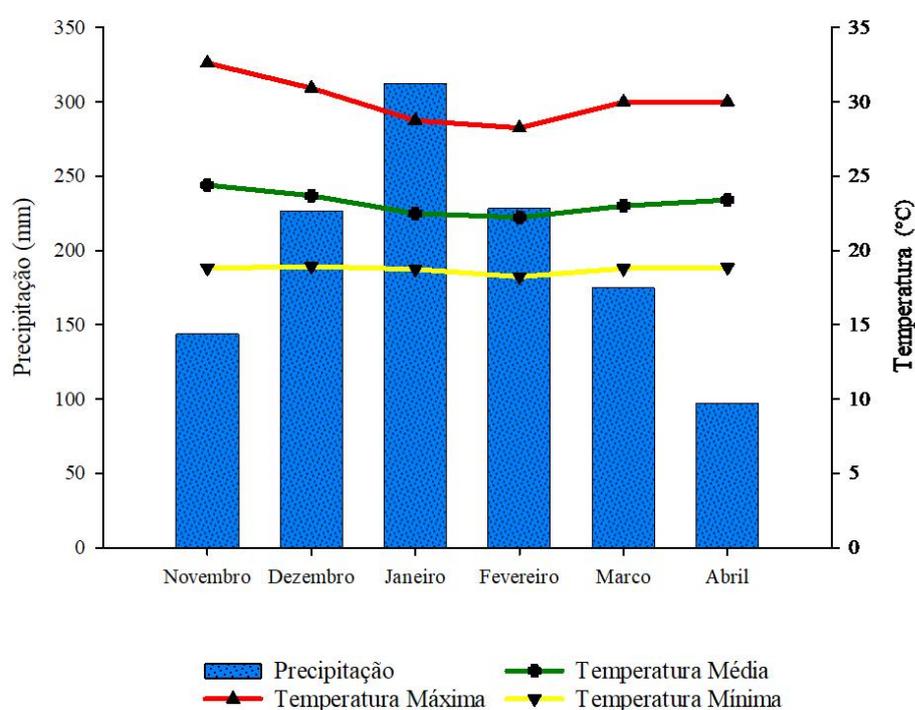


Figura 3. Precipitação pluvial (mm) e temperatura máxima, média e mínima (°C) da área experimental, da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brasil, do período de novembro de 2023 a abril de 2024.

5.2 Implantação da leguminosa e avaliações da pastagem em consórcio

A implementação da leguminosa no sistema de uso da terra S2, ocorreu imediatamente após o rebaixamento da gramínea foi realizado com o pastejo de animais Nelore (Figura 4). As sementes do *Cajanus cajan* da cv. Iapar 43 receberam tratamento (TS) com 200 ml/100 kg sementes de FIPRONIL de nome comercial Standak Top; 200 ml/100 kg de sementes de TIOFANATO-METÍLICO de nome comercial Certeza N, e foram inoculadas com as estirpes de *Bradyrhizobium* sp.: BR 2003 (SEMIA 6156) e BR 2801 (SEMIA 6157) que são específicas para o *Cajanus cajan*.

O plantio foi realizado no dia 23 de novembro de 2023, com um espaçamento entre 0,5 e 1 m entrelinhas com uma população planejada de 150 mil plantas por hectare. No momento do plantio foi realizada a adubação fosfatada e potássica com 250 kg/ha da fórmula 00-20-20 na linha de plantio, a fim de favorecer o estabelecimento inicial da leguminosa.



Figura 4. Sistema S2 após o rebaixamento do pasto pelos animais, já em condições ideais para o plantio da leguminosa. **Imagem:** Robélio Leandro Marchão.

A partir do estabelecimento da leguminosa se iniciaram as avaliações. (Figura 5).



Figura 5. (A) Sistema S2 - *Cajanus cajan* com 46 dias após a semeadura (DAS) consorciada com a *Urochloa brizantha* BRS Piatã. (B) Sistema S2 - *Cajanus cajan* com 75 dias após a semeadura (DAS) consorciada com a *Urochloa brizantha* BRS Piatã ; (C) Sistema S1- *Urochloa brizantha* BRS Piatã nas mesma data da figura (A); (D) Sistema S1- Na mesma data da figura (B).

Para a mensuração das variáveis de crescimento foram demarcados dez pontos fixos aleatórios em cada parcela, utilizando um quadrado de $1 \times 1 \text{ m}^2$ e fechados com gaiolas a fim de evitar o pisoteio dos bovinos e eventuais animais silvestres (Figura 6A).

A altura e o diâmetro das plantas foram avaliados aos 20, 35, 50, 65, 80, 95 e 120 dias após a emergência (DAE). A altura foi determinada com o auxílio de uma régua, mensurando a distância da superfície do solo até o pecíolo da última folha formada (Figura 6B). O diâmetro do caule foi medido com um paquímetro, tomando como referência a marca dos pecíolos das folhas primária (Figura 6C).



Figura 6. (A) Área demarcada para as avaliações morfológicas; (B) Avaliações de altura; e (C) Avaliação do diâmetro do caule no guandú.

Nas mesmas datas foram amostradas cinco plantas de *Cajanus cajan* nas áreas adjacentes aos pontos demarcados para a avaliação da área foliar em laboratório o equipamento utilizado para a digitalização e quantificação da área foliar foi um LI-3100C (LI-COR Biosciences, 2021, Estados Unidos). Neste equipamento há duas esteiras transportadoras transparentes, que deslocam as folhas sobre um leito de digitalização, permitindo a medição eficiente de grandes quantidades de amostras em um período curto. O equipamento registra individualmente a área foliar e calcula a área total de um conjunto de folhas, otimizando o processo de análise.



Figura 7. Equipamento medidor de Área Foliar. LI-3100C (LI-COR Biosciences, 2021, Estados Unidos).

Ao atingir o estágio de florescimento pleno da leguminosa que ocorreu com 117 dias após a semeadura, o índice de clorofila das gramíneas foi avaliado por meio de um clorofilômetro. As leituras foram realizadas no dia 18/03/2024 nas gramíneas dos sistemas (S1 e S2), em cinco plantas nos mesmos dez pontos previamente demarcados cada parcela.

Nessa mesma avaliação também foram mensuradas a altura das gramíneas, produtividade e a densidade da forragem, em ambos os sistemas e coletadas as plantas, em dez pontos aleatórios dentro das parcelas a fim de se obter melhor representatividade da parcela.

As plantas coletadas foram separadas entre gramíneas e leguminosas, em quatro sacos papel, um saco contendo o capim BRS Piatã no sistema S1 com 200 g de amostras, outro saco também com 200 g para o capim BRS Piatã do sistema S2, o terceiro com 200 g do *Cajanus cajan* e o quarto com 200 g de uma proporção de capim e leguminosa. Após a separação das plantas, as amostras foram secas em estufa a 65 °C por 72 horas e, posteriormente, moídas em moinho de facas tipo Willey com peneira de 1 mm. Em seguida, as amostras foram avaliadas o teor de proteína bruta (PB) pelo método de (Kjeldahl) conforme especificações da AOAC (2012).

A digestibilidade "in vitro" da matéria seca (DVIMS) foi feita através de fermentação ruminal por 48 horas a 39 °C, utilizando-se um sistema de incubação *in vitro* Tecnal® (TE-150) conforme metodologia descrita por Tilley e Terry (1963) e modificada por Goering e Van Soest (1970), com o uso de sacos ANKON F57 (Figura 6).

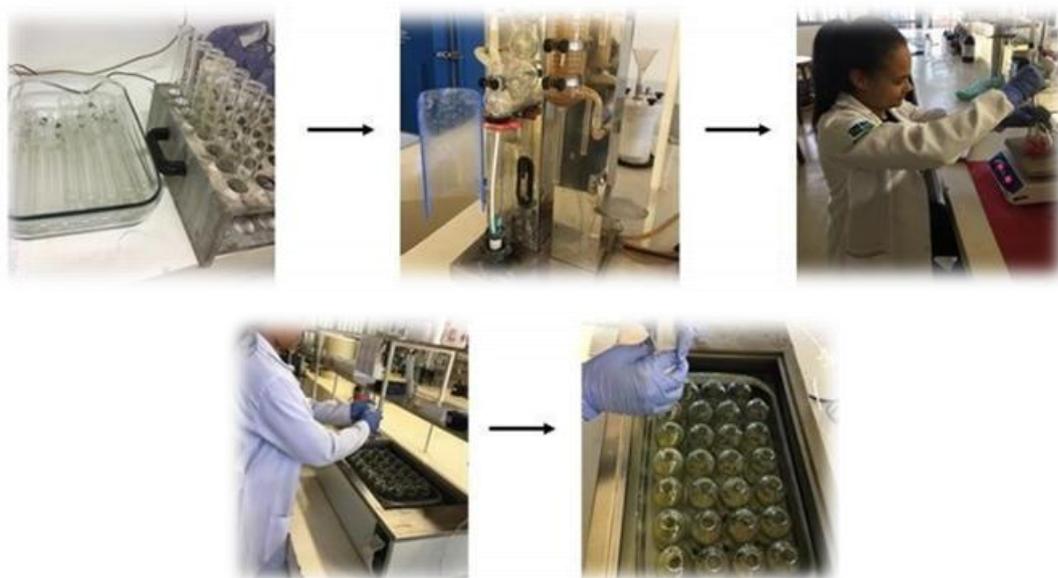


Figura 8: Análises de Proteína Bruta (PB) e Digestibilidade “in vitro” (DIVMS). **Fonte:** Arquivo pessoal.

5.3 Avaliações do nitrogênio do solo em diferentes compartimentos

5.4. Nitrogênio mineral (NO_3^- e NH_4^+)

Após o guandu atingir seu florescimento pleno foram finalizadas suas avaliações e das gramíneas, e realizadas as amostragens de solo com auxílio de um trado holandês, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm (Figura 9). As amostras coletadas foram utilizadas para a determinação das concentrações de nitrato (NO_3^-), amônio (NH_4^+) e

nitrogênio prontamente mineralizável (ISNT) do solo. Para cada profundidade, obteve-se uma amostra composta a partir da homogeneização de dez amostras simples.

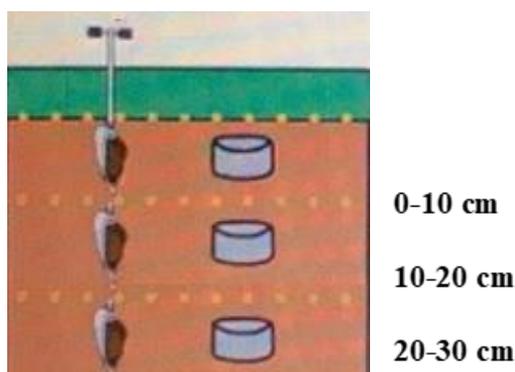


Figura 9. Demonstração da coleta do solo em profundidade de 0-10; 10-20 e 20-30 cm.

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o laboratório em uma caixa térmica hermeticamente fechada (cooler) com gelo, a fim de prevenir perdas de umidade e N mineral.

As análises seguiram o protocolo para determinação colorimétrica de N mineral. A determinação do NH_4^+ nos extratos seguiram-se os seguintes procedimentos: Preparo da Solução 1 (solução complexante): dissolver 0,6 g de ácido etilenodinitrilotetracético sal dissódico ($\text{NaEDTA} - \text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) em 10 mL de água deionizada. Solução 2 (solução de salicilato-nitroprussiato): dissolver 1,5626 g de salicilato de sódio ($\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$) e 0,0025 g de nitroprussiato de sódio dihidratado ($\text{C}_5\text{FeN}_6\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) em 20 mL de água deionizada. Solução 3 (solução tampão): dissolver 0,296 g de hidróxido de sódio (NaOH) e 0,996 g de fosfato de potássio dibásico (K_2HPO_4) em uma mistura de 4 mL de água deionizada e 6 mL de hipoclorito de sódio (solução desinfetante comercial recém-aberta).

Primeiramente foram pipetados 150 μL do extrato das amostras de solo, que passaram por extração, em cada uma das 96 células de uma microplaca de fundo chato de poliestireno (“placa de Elisa”); 2) Adicionadas 15 μL da solução 1 em cada célula; 3) 60 μL da solução 2 em cada célula; 4) 30 μL da solução 3 em cada célula; 5) Após isso as microplacas são levadas a agitação no leitor de microplacas (comando no equipamento); 6) Foram aguardados 30 minutos para desenvolvimento de coloração verde-azulada (Figura 10); 7) Ao fim as amostras foram lidas em espectrofotômetro automatizado (leitor de microplacas) no comprimento de onda de 667 nm.

Para o NO_3^- , Solução 1 (solução redutora): dissolver 0,16 g de cloreto de vanádio (VCl_3) em 20 mL de solução de HCl 1,0 mol L^{-1} . Solução 2 (solução de acoplamento): dissolver 0,02 g de dicloridrato alfa-naftiletilenodiamina ($\text{NED} - \text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2 \text{HCl}$) em 20 mL de água deionizada. Solução 3 (solução de sulfanilamida): dissolver 0,4 g de sulfanilamida ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) em 20 mL de solução ácida de HCl 5% (v/v). A partir das seguintes etapas 1) Foram pipetados 100 μL do extrato das amostras de solo em cada uma das 96 células de uma microplaca de fundo chato de poliestireno (“placa de Elisa”); 2) E adicionados 100 μL da solução 1; 3) 50 μL da solução 2; 4) 50 μL da solução 3; 5) Após isso, as microplacas são levadas a agitação no leitor de microplacas (comando no equipamento); 6) Foram aguardados 30 minutos para desenvolvimento de coloração rosa intensa (Figura 10); 7) Ao fim as amostras foram lidas em espectrofotômetro automatizado (leitor de microplacas) no comprimento de onda de 540 nm.

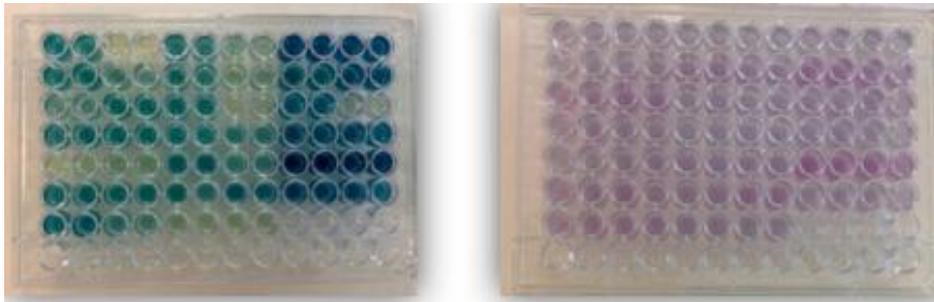


Figura 10. Microplacas de Elisa contendo em verde azulado o NH_4 e rosa intenso para o NO_3 .

5.4.1 Nitrogênio prontamente mineralizável

Para o N prontamente mineralizável foi avaliada por método químico, o ISNT (Illinois Soil Nitrogen Test) foram utilizadas a solução de NaOH 2,0 mol L^{-1} : dissolver 80 g de NaOH em grânulos em 800 mL de água deionizada em um balão volumétrico de 1 L, completando-se o volume para 1 L, após a solução ter resfriado em temperatura ambiente. 2. A solução indicadora ácido bórico (4% H_3BO_3): Foram dissolvidos 400 g de H_3BO_3 grau reagente em aproximadamente 8 L de água deionizada enquanto agita em agitador magnético em garrafa Pyrex de 10 L. Em seguida, adicionados 0,099 g de verde de bromocresol e 0,066 g de vermelho de metila (sais de sódio solúveis em água) e completados o volume para 10 L com água deionizada. Com agitação contínua, foi realizado o ajuste o pH da solução para 4,2 a 4,3 com adição de pellets de NaOH . Quando uma alíquota da solução indicadora é diluída com volume igual de água deionizada, deve-se obter pH de 4,8 a 5,0. 3. O ácido sulfúrico (solução padrão 0,01 M): foi diluído 5,6 mL de H_2SO_4 concentrado em uma garrafa Pyrex de 10 L e misturados. Foram padronizados

com titulação várias alíquotas de 5 mL da solução THAM, preparado pela dissolução de 0,2430 g de reagente seco em 100 mL de água deionizada em frasco volumétrico.

Seguindo os procedimentos do método foram pesados 1,0 g de solo seco e adicionados a unidade de difusão (Mason-jar). Foi acoplado a placa de Petri à braçadeira de nylon e adicionados 5 mL de solução indicadora ácido bórico. Adicionadas à amostras de solo 10 mL de hidróxido de sódio e agitadas suavemente os frascos para misturar o conteúdo, com muito cuidado para minimizar a aderência de solo à parede do frasco. Após 15 a 30 s, a tampa foi adicionada ao frasco e seladas fixando firmemente. Em seguida, foram transferidas da Mason-jar para a placa aquecedora (temperatura entre 53 e 54 °C). Passados 1,5 h e 3 h foram realizados os rodízios dos frascos, conforme indica a Figura 11.

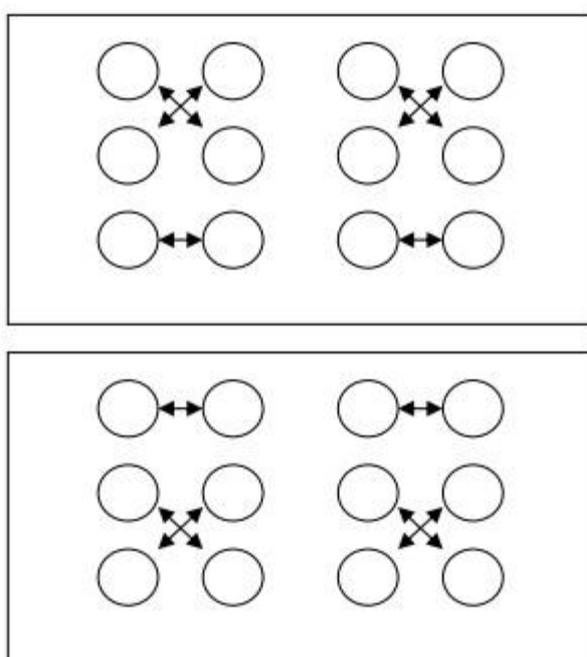


Figura 11: Rodízio dos frascos pelo método do ISNT.

Após 5h, os frascos foram removidos da placa aquecedora e as placas de Petri de cada frasco, e diluídas a solução H_3BO_3 com 5 mL de água deionizada para titulação com ácido sulfúrico 0,01 M.

Para o cálculo, em $mg\ N\ kg^{-1}$ (ppm): $N - ISNT = S \times T$, onde S é a quantidade em mL de H_2SO_4 usada na titulação da amostra e T é a concentração da solução determinada por titulação (para 0,01 M H_2SO_4 , $T = 280\ \mu g\ N\ m^{-1}$). (KHAN, MULVANEY E HOEFT, 2001). Este método estima a fração N-aminoacúcar + N-NH₄⁺

trocável do solo, que são frações lábeis de N e pode ser considerada uma aproximação do N disponível durante o ciclo da espécie cultivada.

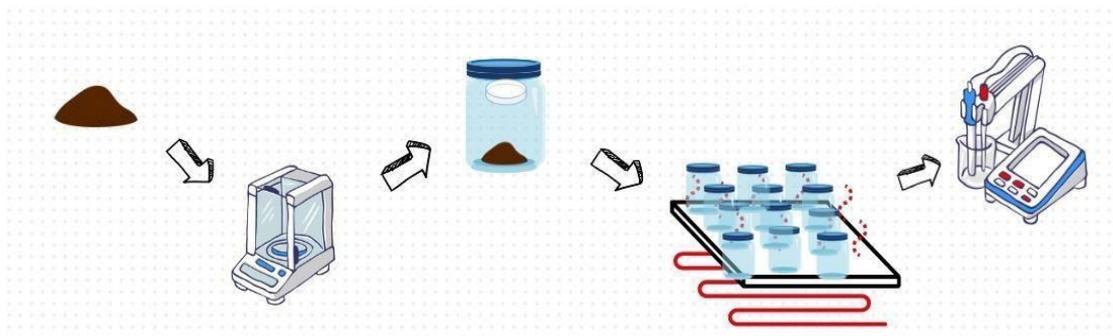


Figura 12. Sequência de etapas do método ISNT. **Fonte:** Heloisa Carvalho

6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de altura, diâmetro, área foliar (AF) e a produção de matéria seca da parte aérea do *Cajanus cajan* foram analisados pelo software SISVAR (versão 3.2.2) utilizando o modelo de blocos inteiramente casualizados e nos casos de significância do teste F foram ajustadas equações de regressão, com nível de significância a 5%. Os dados referentes aos teores de clorofila, digestibilidade *in vitro*, densidade, altura dos pastos, proteína bruta, produtividade da forragem, nitrogênio mineral e N mineralizável ISNT também foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey de significância a 5%, utilizando o software SISVAR (versão 3.2.2). Os dados relativos ao nitrogênio do solo foram analisados por camada considerando a dependência existente entre as profundidades.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Características morfológicas e produtividade do *Cajanus cajan* em pastagens consorciadas com capim BRS Piatã.

A altura das plantas é um indicador fundamental para avaliar o desempenho e a adaptação de espécies em sistemas consorciados. Neste trabalho, foram observados padrões distintos de crescimento entre o *Cajanus cajan* e a *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã ao longo do tempo, refletindo suas características morfofisiológicas e interações competitivas no consórcio.

Os dados de altura das plantas ao longo do tempo (Figura 13) indicaram um modelo significativo com um $R^2 = 0,9816$, demonstrando um crescimento expressivo até aproximadamente 115 dias após a semeadura (DAE). O comportamento quadrático observado sugere que, após um período inicial de crescimento acelerado, ocorre uma estabilização na altura da cultura, possivelmente devido à competição por recursos como luz e nutrientes (XU et al., 2020). Contudo, manteve uma taxa de crescimento constante, alcançando alturas superiores a 90 cm nos estágios avançados do experimento.

Em contrapartida, a *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã demonstrou um crescimento mais acelerado nos primeiros dias após a semeadura, ultrapassando rapidamente os 50 cm de altura. Este comportamento pode estar associado à sua estratégia de rápido fechamento do dossel, favorecendo a competição por luz e potencialmente impactando o crescimento do *Cajanus cajan* nos estágios iniciais (SANTOS, 2018). Estudos recentes corroboram esses achados, Oliveira et al. (2022) avaliaram diferentes materiais genéticos de *Cajanus cajan* em consórcio com capim-marandu na recuperação de pastagens degradadas e observaram que o consórcio influenciou positivamente a produção de biomassa e a dinâmica de crescimento das espécies envolvidas.

Além disso, trabalhos desses mesmos autores sobre estratégias de recuperação de pastagens degradadas, incluindo o consórcio com *Cajanus cajan*, têm demonstrado benefícios na melhoria da fertilidade do solo e no sequestro de carbono, o que pode influenciar o crescimento das plantas no consórcio (OLIVEIRA et al., 2024). A dinâmica de crescimento observada reflete correlação e a competição entre as espécies no sistema consorciado (EMBRAPA, 2024). A capacidade do *Cajanus cajan* de manter um crescimento contínuo sugere uma contribuição significativa para a produção de biomassa e fixação biológica de nitrogênio ao longo do ciclo. Por outro lado, a *Urochloa brizantha*

cv. BRS Piatã, com seu rápido crescimento inicial, pode auxiliar no controle de plantas invasoras e na conservação da umidade do solo (2019; XU et al., 2020).

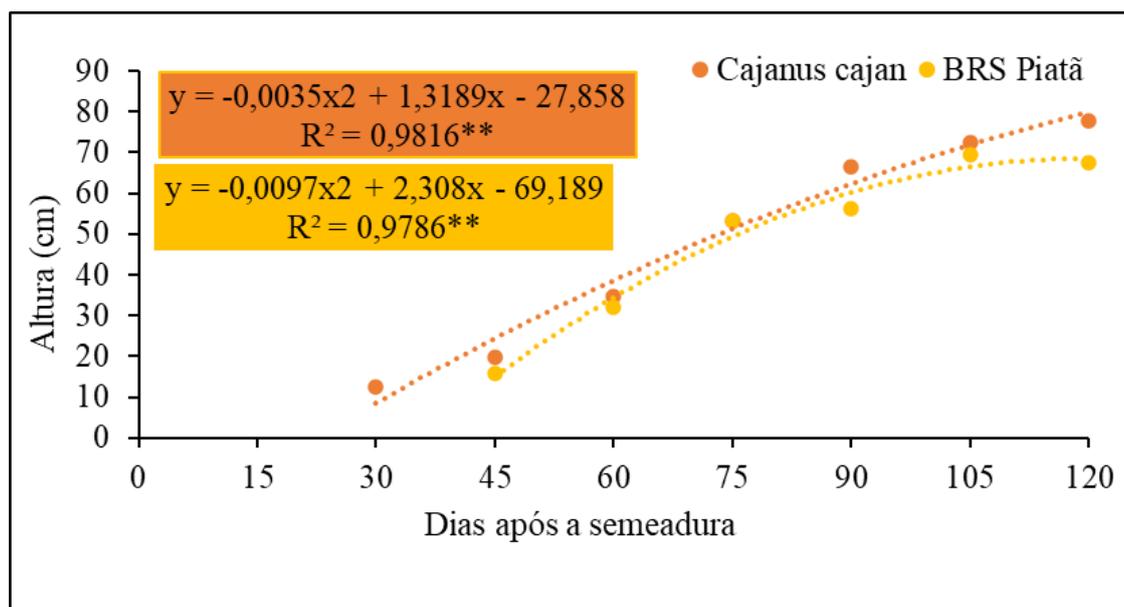


Figura 13: Alturas de plantas do *Cajanus Cajan* e da *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã em consórcio no sistema S2.

O diâmetro do colo da planta (Figura 14) apresentou uma tendência de crescimento ajustada ao modelo, com coeficiente de determinação elevado com um $R^2 = 0,9914$. Esse comportamento pode estar relacionado ao desenvolvimento estrutural da planta, permitindo maior suporte estrutural e acúmulo de reservas para sustentar a fase reprodutiva (ZHANG et al., 2021). Vale ressaltar que o aumento do diâmetro do colo é um indicador relevante para a tolerância ao acamamento, fator crucial para a longevidade e persistência do guandu em sistemas pastoris (CARVALHO et al., 2019; LIU et al., 2022).

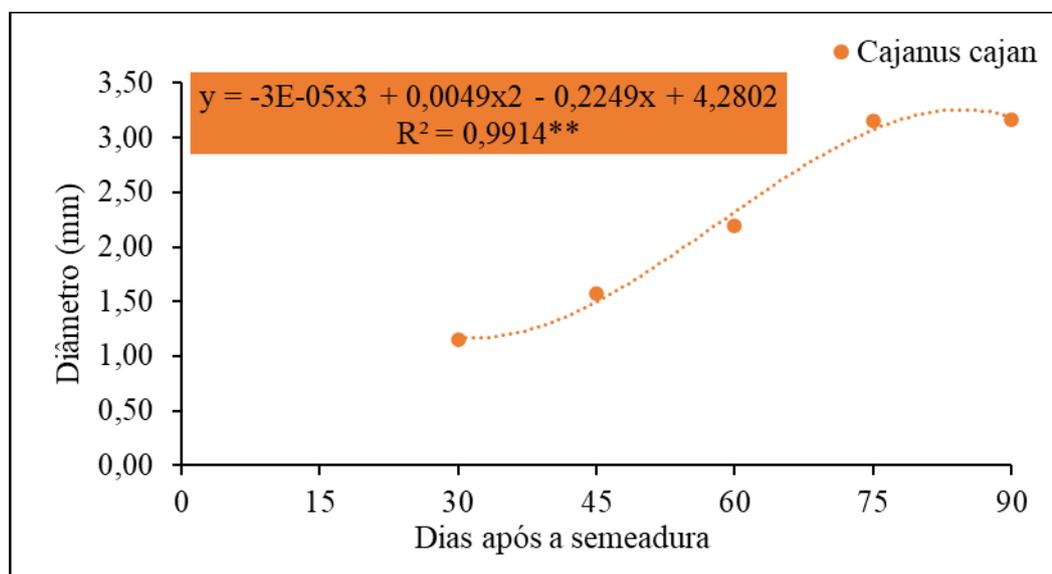


Figura 14: Diâmetro do colo das plantas do *Cajanus cajan* no sistema S2- pastagem consorciada com o

A produção de matéria seca da parte aérea (Figura 15) apresentou um $R^2 = 0,9419$, com incrementos crescentes ao longo do ciclo da cultura. Esse padrão sugere que o guandu manteve um crescimento vegetativo consistente ao longo do tempo, sem sinais evidentes de limitação nutricional ou hídrica. O aumento linear da biomassa aérea indica uma contribuição positiva da leguminosa para a cobertura do solo e melhoria na qualidade da forragem, aspectos essenciais para a sustentabilidade dos sistemas integrados (FERNANDES et al., 2023).

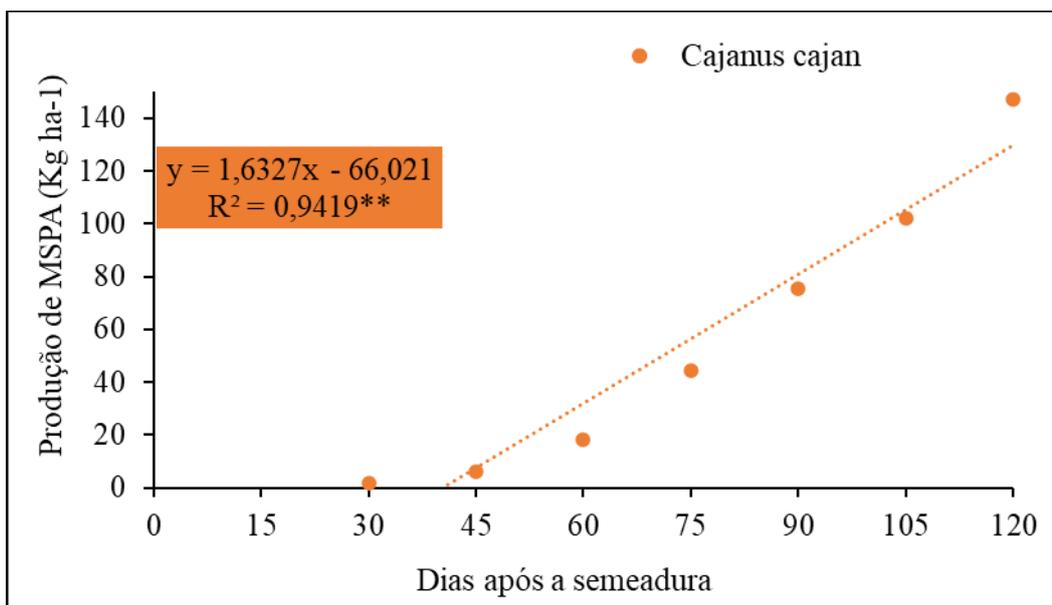


Figura 15: Matéria seca da parte aérea do Feijão Guandu no sistema S2- pastagem consorciada com o *Cajanus cajan*.

A área foliar (AF) apresentou variações entre 0,03 e 0,51 m² m², com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9452 (Figura 16). O aumento da AF reflete um maior desenvolvimento da planta, o que pode impactar positivamente a interceptação de luz e a taxa fotossintética, contribuindo para a maior produção de biomassa. Resultados semelhantes foram observados por (XU et al., 2020), que relataram que a AF em sistemas consorciados pode ser influenciada tanto pelo espaçamento entre plantas quanto pela adaptação do guandu ao ambiente. Além disso, Zhang et al. (2021) destacaram que a relação entre AF e produtividade pode ser um indicativo da eficiência do uso da radiação solar pelas espécies forrageiras.

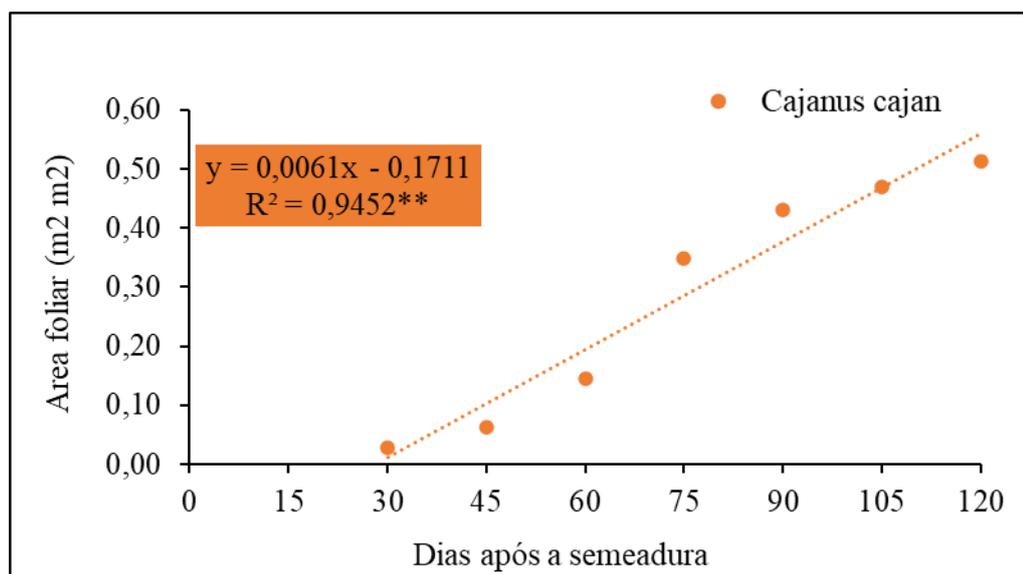


Figura 16. Área foliar (AF) do Feijão Guandu no sistema S2.

Os dados obtidos para altura, diâmetro, área foliar e matéria seca do guandu-anão sugerem que houve um desenvolvimento favorável do guandu no consórcio, possivelmente beneficiado pela fixação biológica de nitrogênio e pela interação positiva entre o Guandu e o BRS Piatã. Estudos recentes corroboram que sistemas consorciados podem promover ganhos significativos na produtividade de forrageiras, além de melhorar a qualidade do solo por meio da incorporação de resíduos orgânicos (EMBRAPA, 2022; SILVA et al., 2024). Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a viabilidade do uso do *Cajanus cajan* em sistemas consorciados de pastagens tropicais, contribuindo para a sustentabilidade produtiva a longo prazo.

7.2 Composição química da pastagem solteira e consorciada com *Cajanus cajan*

A análise do índice de clorofila (Figura 17) indicou diferenças significativas entre os sistemas avaliados. O sistema consorciado S2 apresentou valores superiores para a clorofila total, clorofila A e clorofila B em comparação ao sistema solteiro S1. Esses resultados sugerem que a introdução do *Cajanus cajan* pode ter contribuído para um maior teor de clorofila, favorecendo o potencial fotossintético das plantas. Resultados semelhantes foram observados por Zhang et al. (2021) que relataram que leguminosas em consórcio podem melhorar a eficiência fotossintética devido ao aumento da fixação biológica de nitrogênio e ao sombreamento parcial, que reduz o estresse térmico.

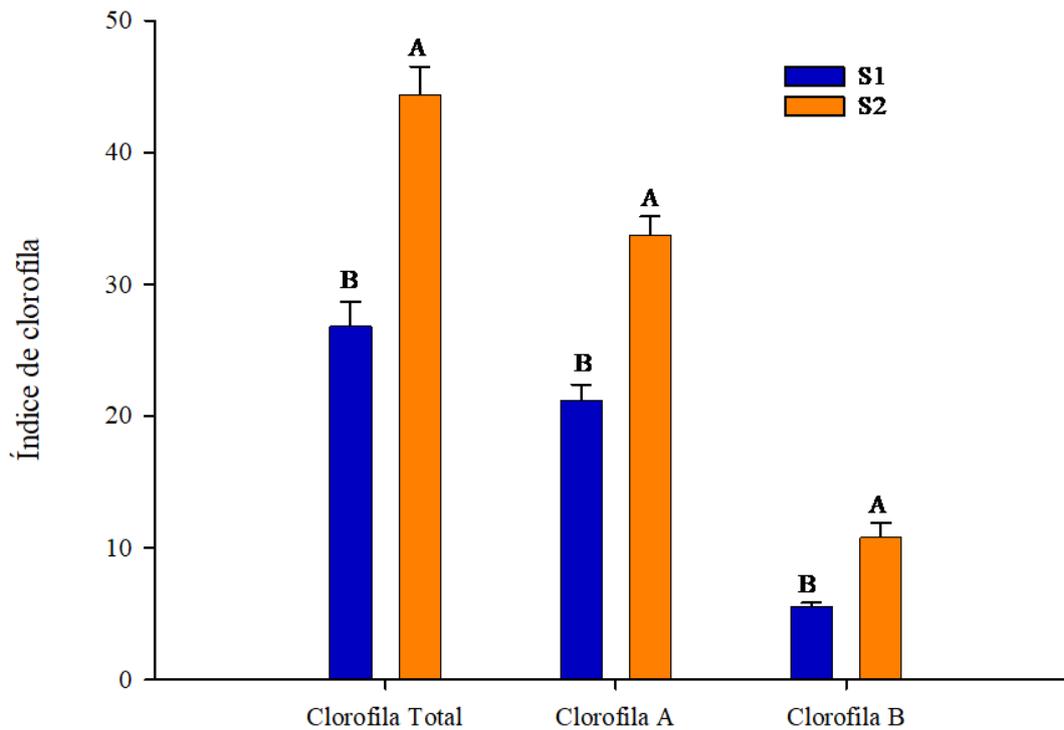


Figura 17. Índice de Clorofila total, A e B no capim BRS Piatã nos sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

O teor de proteína bruta foi significativamente maior no guandu (G-S2) o que era esperado pois leguminosas possuem alto teor de proteína (Figura 18). Na gramínea, os teores de proteína foram semelhantes ($p>0,05$) em sistema solteiro ou consorciado apresentando valores inferiores a 6%, valores esses semelhantes aos encontrados na literatura (SILVA et al., 2024). O teor de proteína bruta na forragem tem impacto direto na fermentação ruminal, consumo de alimento, digestibilidade da fibra e desempenho produtivo dos ruminantes (ALVES et al., 2020). O equilíbrio entre proteína e energia na dieta é essencial para otimizar a eficiência alimentar e reduzir desperdícios de nutrientes. De acordo com Silva et al (2024), pastagens consorciadas com leguminosas tendem a apresentar melhorias na qualidade nutricional devido à maior deposição de nitrogênio no solo.

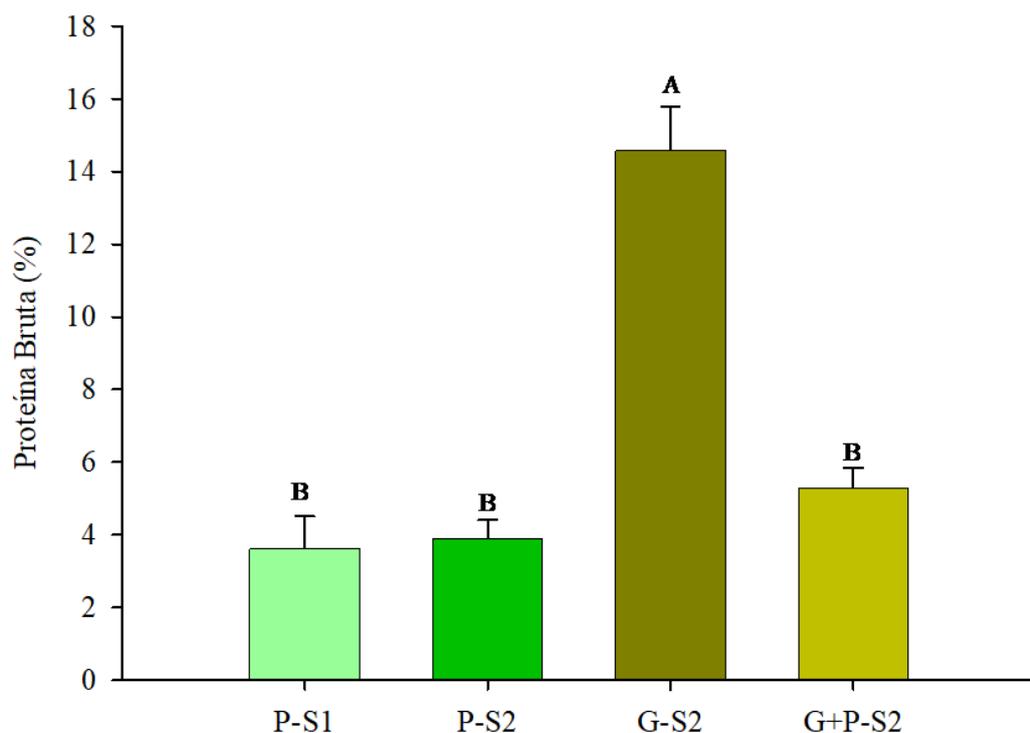


Figura 18: Teor de proteína bruta para os sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*, em três categorias no sistema S2: Pasto, Guandu e Pasto + Guandu S1 Pasto. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

A digestibilidade *in vitro* da planta forrageira em consórcio e solteira também apresentou diferenças significativas (Figura 19). O sistema de pastagem consorciada (PS2) apresentou maior digestibilidade que a pastagem solteira (P-S1) e estes sistemas de produção apresentaram os maiores índices de digestibilidade quando comparados com a digestibilidade da leguminosa analisada separadamente (G-S2). Essa diferença pode estar relacionada à composição estrutural da leguminosa, que pode apresentar maior teor de fibra e menor digestibilidade em comparação à gramínea isolada. A presença de lignina e taninos em leguminosas pode reduzir a digestibilidade da forragem, impactando diretamente o consumo (XU et al., 2020).

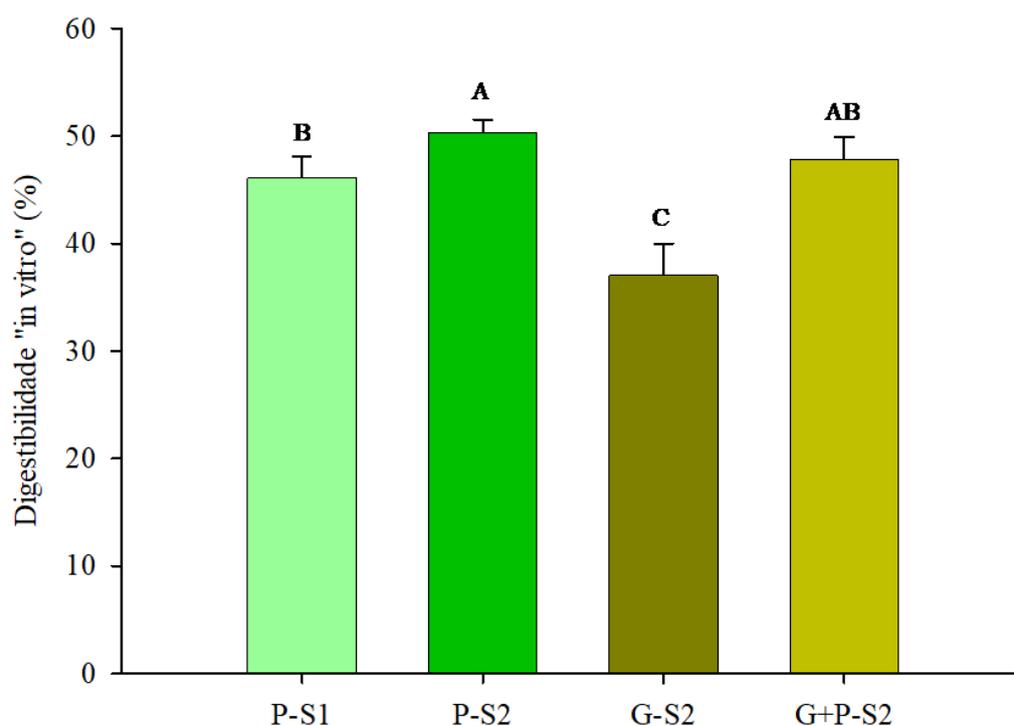


Figura 19. Digestibilidade *in vitro* da Matéria Seca (DIVMS) para os sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*, em três categorias no sistema S2: Pasto, Guandu e Pasto + Guandu S1 Pasto. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

7.3 Produtividade da pastagem solteira e consorciada com *Cajanus cajan*

A produtividade da pastagem solteira (S1) e consorciada com *Cajanus cajan* (S2) diferiu entre os sistemas avaliados ($p < 0,05$). A produtividade total dos pastos foi maior no sistema S1, indicando que a pastagem solteira apresentou maior acúmulo de biomassa quando comparada à pastagem consorciada (Figura 20), o que pode ser atribuído ao fato de que, para a introdução do *Cajanus cajan* no sistema S2, houve rebaixamento da pastagem, enquanto no sistema S1 essa intervenção não ocorreu. Dessa forma, a menor produção de biomassa em S2 não deve ser interpretada como um efeito negativo da leguminosa sobre a gramínea, mas sim como uma consequência da diferença nas condições iniciais de manejo entre os sistemas. Esse fator reforça a importância de considerar o histórico da pastagem ao avaliar a produtividade em sistemas consorciados. Além disso, estudos indicam que, à medida que o consórcio se estabelece e a leguminosa contribui com a fixação biológica de nitrogênio, há um potencial incremento na

recuperação da produtividade da gramínea (FERNANDES et al., 2023; SILVA et al., 2024).

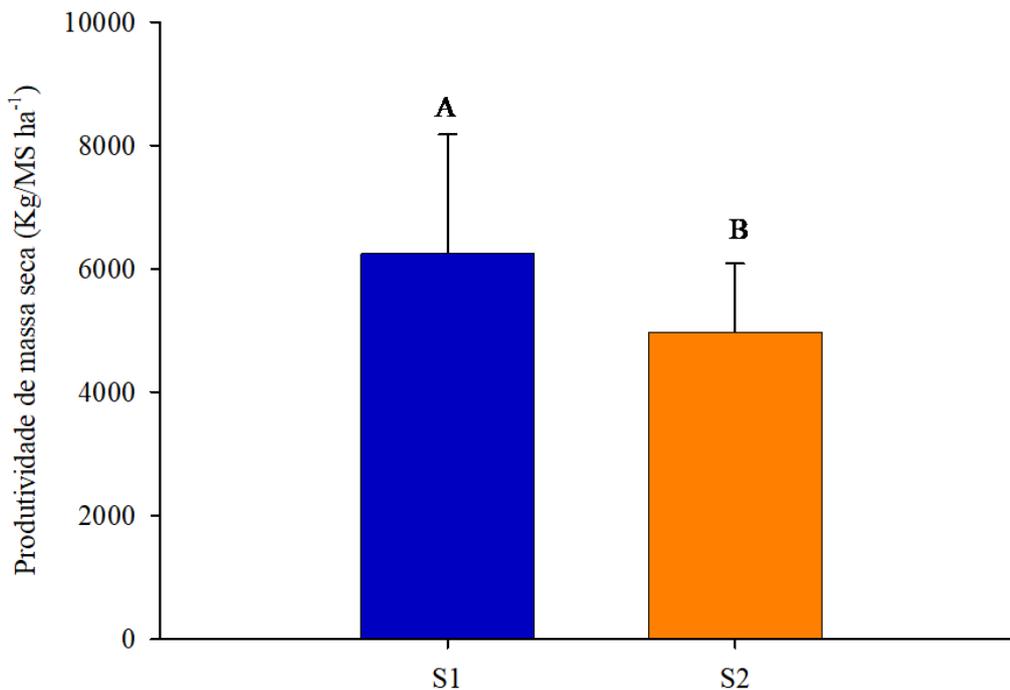


Figura 20. Produtividade de massa seca de forragem (Kg/MS há⁻¹) do capim BRS Piatã nos sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

Estudos recentes indicam que o sucesso de consórcios forrageiros depende da compatibilidade entre as espécies utilizadas e do manejo adequado para minimizar a competição (FERNANDES et al., 2023). Dessa forma, ajustes na densidade de plantio ou na adubação podem mitigar os efeitos negativos observados na produtividade. A altura da gramínea, por outro lado, foi superior no sistema consorciado (S2), apresentando diferença estatística em relação ao sistema solteiro (Figura 21). Esse comportamento pode estar associado à menor densidade de plantas em S2, que favoreceu o alongamento das plantas devido à menor competição intraespecífica. De acordo com Liu et al. (2022), a menor densidade populacional pode estimular o crescimento vertical das plantas em busca de maior interceptação luminosa, o que justifica os resultados obtidos. Além disso, Xu et al. (2020) destacam que a presença de leguminosas pode modificar o microclima da pastagem, promovendo maior desenvolvimento estrutural das gramíneas devido à melhoria na disponibilidade de nitrogênio no solo.

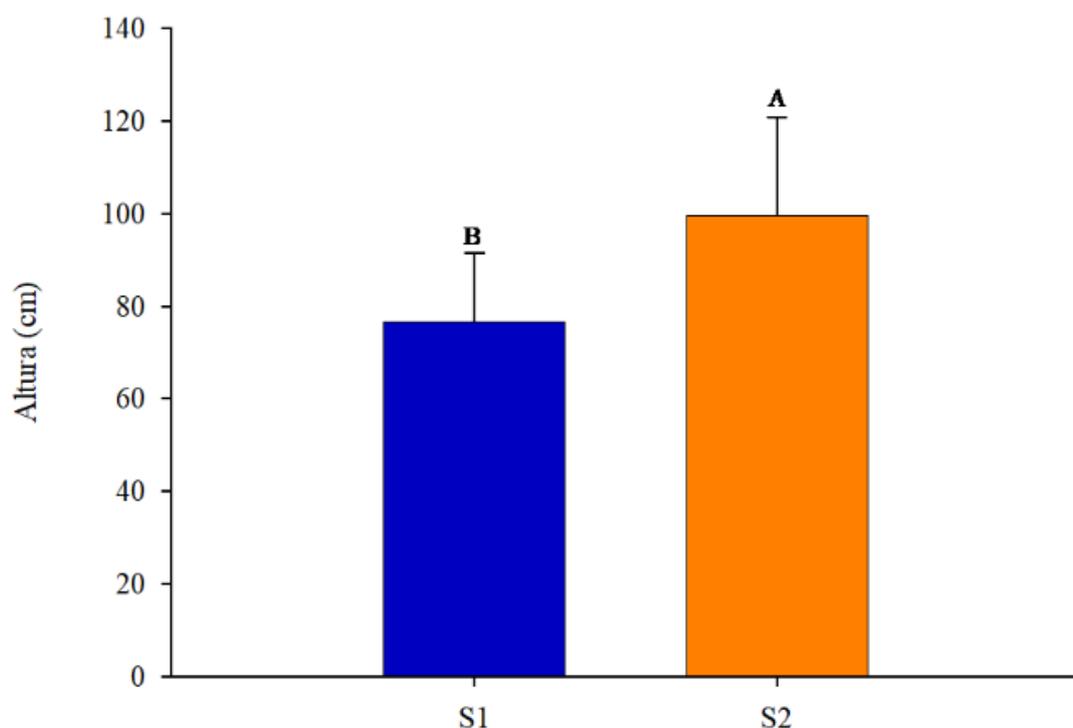


Figura 21. Altura (cm) das plantas gramíneas nos sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

Já a densidade da pastagem foi significativamente maior no sistema S1, indicando que a pastagem solteira apresentou maior número de plantas e quantidade de massa seca de forragem por cm (Figura 22). Esse resultado está diretamente relacionado à menor altura observada nesse sistema, pois a maior densidade de plantas tende a reduzir o espaço disponível para o crescimento individual, levando a plantas mais curtas e com menor diâmetro do colo (ZHANG et al., 2021). A menor densidade da gramínea observada em S2 pode ser explicada pelo rebaixamento que a gramínea do sistema S2 recebeu anterior a implementação do *Cajanus cajan*, adicionalmente, estudos apontam que a densidade populacional influencia diretamente a produção de biomassa e a composição química da forragem, impactando a qualidade nutricional do pasto (XU et al., 2020).

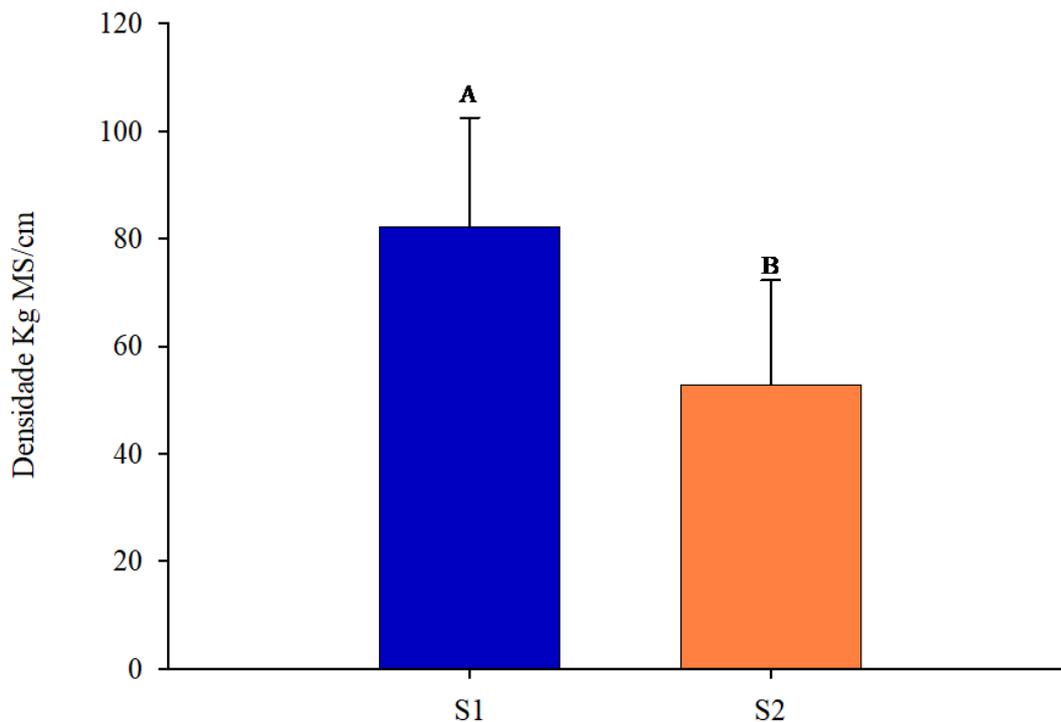


Figura 22. Densidade Kg MS/cm das plantas gramíneas nos sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de significância.

Os resultados evidenciam que o consórcio de *Cajanus cajan* com a *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã influencia a pastagem, reduzindo a produtividade total e a densidade, mas favorecendo o crescimento em altura. Essas alterações estruturais devem ser levadas em consideração na formulação de estratégias de manejo para otimizar a produção e a sustentabilidade dos sistemas integrados de pastagem.

7.4 Nitrogênio do solo em diferentes compartimentos

As análises dos indicadores de qualidade do solo demonstraram variações significativas nos teores de N mineral em diferentes profundidades (0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm). Para os teores de nitrato, observou-se diferença estatística entre os sistemas avaliados e entre as profundidades, com maiores concentrações nas camadas mais superficiais, decrescendo com a profundidade (Figura 23A). Esse padrão pode ser explicado pela maior disponibilidade de matéria orgânica e atividade microbiana na superfície, fatores que favorecem a mineralização do nitrogênio e a produção de nitrato (SANTOS et al., 2023). Além disso, pode ter ocorrido a lixiviação do nitrato para

camadas mais profundas que é comum em solos argilosos do Cerrado, especialmente em períodos de alta precipitação (OLIVEIRA et al., 2022).

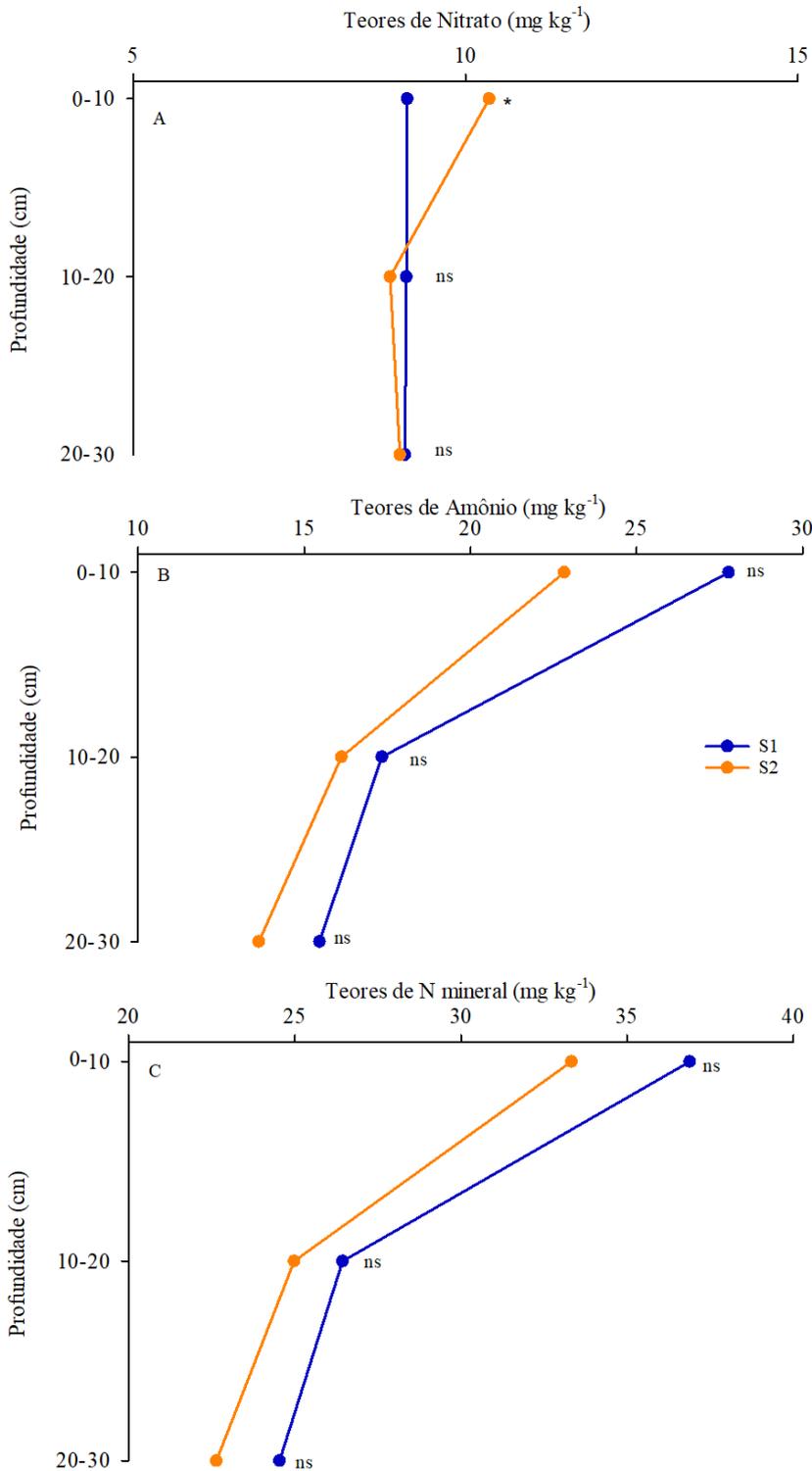


Figura 23. Teores de N mineral em diferentes profundidades para os sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*. (A);

concentrações de nitrato (NO_3^-) (B); concentrações amônio (NH_4^+) (C); e N mineral total. O asterisco identifica diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, evidenciando os maiores teores observados por sistemas.

Por outro lado, os teores de amônio foram superiores aos de nitrato em todas as profundidades analisadas porém não variaram estatisticamente (Figura 23B). Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que o amônio (NH_4^+) é menos móvel no solo devido à sua interação com cargas negativas dos colóides, sendo mais retido na fração argilosa e na matéria orgânica (CARVALHO et al., 2021). Em contrapartida, o nitrato (NO_3^-) é altamente solúvel e apresenta maior mobilidade, o que favorece sua lixiviação em solos bem drenados, como os do Cerrado (LIMA et al., 2020).

A distribuição do nitrogênio mineral (nitrato e amônio) seguiu um padrão semelhante ao do nitrato, com maiores concentrações na camada de 0-10 cm, seguidas pelas camadas inferiores. Esse resultado reforça a importância da ciclagem de nutrientes e da manutenção da matéria orgânica na superfície do solo, especialmente em sistemas consorciados que incluem leguminosas fixadoras de nitrogênio (SANTOS et al., 2023). A presença do *Cajanus cajan* pode ter contribuído para o aumento dos teores de nitrogênio na camada superficial devido à fixação biológica de nitrogênio e ao aporte de resíduos vegetais ricos nesse nutriente (MENDONÇA et al., 2022).

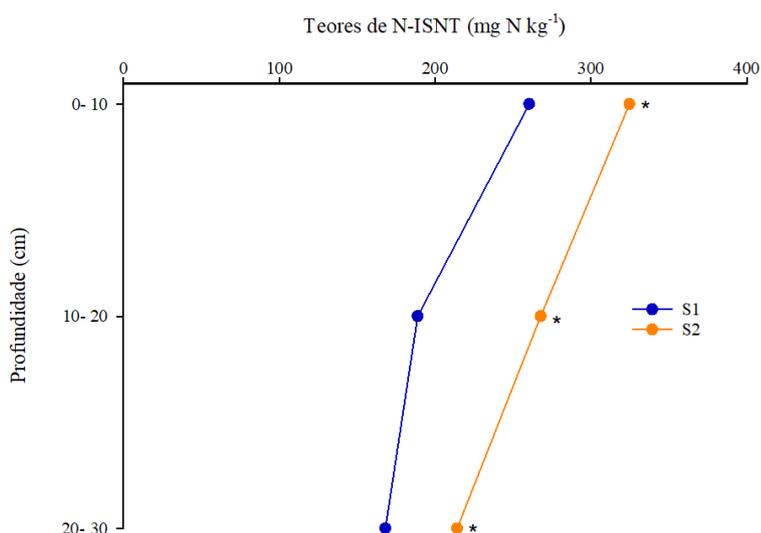


Figura 24. Concentração de N prontamente mineralizável (N-ISNT) em diferentes profundidades para os sistemas S1 - pastagem contínua de *Urochloa brizantha* BRS Piatã e S2- pastagem consorciada de *Urochloa brizantha* BRS Piatã com o *Cajanus cajan*. O asterisco identifica diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5%, evidenciando os maiores teores observados por sistemas.

Além disso, o teor de nitrogênio prontamente mineralizável, avaliados pelo método ISNT, indicou concentrações mais elevadas nas camadas superficiais 0-10 cm,

com diferenças estatísticas significativas entre os sistemas de cultivo e as profundidades analisadas (Figura 24). Esse comportamento pode estar relacionado à maior deposição de matéria orgânica e atividade biológica na superfície do solo, fatores que favorecem a disponibilidade de nitrogênio prontamente mineralizável (OLIVEIRA et al., 2022). No sistema consorciado S2, os teores de N foram superiores aos do sistema solteiro, em todas as camadas de solo avaliadas, indicando um efeito positivo da introdução de leguminosas na ciclagem do nitrogênio no solo.

8. CONCLUSÕES

A introdução da leguminosa *Cajanus cajan* em pastagens de *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã promoveu um aumento na altura das plantas, evidenciando uma melhora no desenvolvimento das espécies consorciadas, quando comparadas às pastagens solteiras.

O consórcio favoreceu a melhoria nos teores de nitrogênio mineral e prontamente mineralizável no solo, indicando que o *Cajanus cajan* contribuiu para a ciclagem de nutrientes e a fertilidade do solo, beneficiando as condições para o crescimento das plantas.

As pastagens consorciadas apresentaram melhores valores nutricionais em comparação com as pastagens solteiras, o que sugere que a combinação entre leguminosa e gramínea é uma estratégia eficiente para otimizar o valor nutritivo da forragem e, conseqüentemente, a produtividade animal.

9. REFERÊNCIAS

- ABDALLA, Mohamed et al. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Global Change Biology*, v. 25, n. 8, p. 2530–2543, 1 ago. 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.14644> Acesso em: 10 setembro. 2024.
- ALMEIDA, N. D. R. Características produtivas e valor nutricional de variedades de leguminosas em função da adubação fosfatada. 2019. 91 p. Dissertação (Mestrado) - PósGraduação em Ciência Animal. Universidade Rural do Maranhão, Chapadinha, 2019.
- ALMEIDA, R. G. et al. Fixação biológica de nitrogênio e sua contribuição para sistemas forrageiros sustentáveis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, e020017, 2020.
- AMADORI, C. et al. Emissões de óxido nitroso e metano do solo em sistemas agrícolas integrados no sul do Brasil. *Sci. Total Environ.* 2022 , 828 , 154555.
- AMARAL, M. B. Fixação biológica de nitrogênio em leguminosas forrageiras tropicais. 2023. 101p. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2023
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. Beef Report 2023. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beefreport-2023-capitulo-02/>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2025
- BEHERA, S. K. et al. Classification of Pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) Genotypes for Zinc Efficiency. *Plants*, v. 9, n. 8, p. 1-14, 2020.
- BELMOK, A. et al. Long-term effects of periodical fires on archaeal communities from Brazilian Cerrado soils. *Archaea*, v. 2019, n. 1, p. 6957210, 2019.
- BENETT, C. G.S. et al. Produtividade e composição bromatológica do capim marandu a fontes e doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras-MG, v. 32, n. 5, p. 1629-1636, 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500041&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 18 jun. 2024
- BONAMIGO, L. A. Recuperação de pastagens com gandu em sistema de plantio direto. *Informações Agrônomicas*, n. 88, p. 1-8, 1999.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Teor de clorofila e desenvolvimento de feijão gandu adubado com fosfato natural reativo em Latossolo do Cerrado. *Revista Agrarian*, v.9, n.33, p. 248-253, 2016.

- BORLACHENCO, N. G. C. et al. Expansão agrícola: elaboração de indicadores de sustentabilidade nas cadeias produtivas de Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, v. 18, n. 1, p. 119-128, 2017.
- BOY, J. et al. Vendo a floresta não pelo carbono: por que concentrar-se em mudanças no estoque de carbono induzidas pelo uso da terra nos solos do Brasil pode ser prejudicial ao clima. **Mudança ambiental regional**, v. 18, p. 63-75, 2018.
- BUAINAIN, A. M. et al. **Dinâmica da economia e da agropecuária no Matopiba**. Texto para discussão, 2017.
- CARVALHO, A. M. et al. Crescimento e acúmulo de biomassa em leguminosas forrageiras tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 48, p. 1-12, 2019
- CARVALHO, J. P.; et al. Soil nitrogen dynamics in tropical agroecosystems: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 165, p. 108-127, 2021.
- CARVALHO, A. M. et al. Cover Crops Affect Soil Mineral Nitrogen and N Fertilizer Use Efficiency of Maize No-Tillage System in the Brazilian Cerrado. **Land**, v. 13, n. 5, p. 693, 2024.
- DE CARVALHO, AM. et al. Estoques de Carbono no Solo e Mitigação de Gases de Efeito Estufa na Agricultura no Cerrado Brasileiro – Uma Revisão. *Plantas*, 12 (13), 2449.
- CANTARELLA, H. et al. Manejo da adubação nitrogenada para pastagens tropicais. *Boletim Técnico de Nutrição Vegetal*, v. 19, p. 45-61, 2018.
- CASTRO, B.A. et al. Manejo de pastagem (Pastejo rotacionado). 2021. 31p. Trabalho de conclusão de curso (Técnico em Zootecnia) - ETEC Frei Arnaldo Maria de Itaporanga, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Votuporanga, 2021. Disponível em: . Acesso em: 01 de fevereiro de 2025
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. PIB do Agronegócio Brasileiro. Piracicaba, 2024. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> Acesso em: 30/06 2024.
- COELHO, R. Dos S. et al. Meio Ambiente E Sustentabilidade: A Associação Entre Ações Antrópicas E As Mudanças Climáticas.2020
- DANSI RODRIGUES, D. et al. Medição de área foliar de mudas de hortaliças com o uso do Medidor de Área Foliar LI – 3100C. [s.l.] Edifes, 2021.
- DANTAS, M. S. et al. Análise bromatológica do feijão guandu cultivado em sequeiro no semiárido para produção de forragens. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*. v. 15, n. 3, p. 381-390, UFCG - Campina Grande, PB, 2021.
- DA COELHO, R. S. Qualidade do solo em sistemas integrados de produção agropecuária, sob latossolos vermelhos no Mato Grosso do Sul. 2020.

- DE AGUIAR, P. H. D. S. et al. (2023). FABACEAE: IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA DO FEIJÃO GUANDU (Canajus cajan L.). *Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente*, 16(1 jan-jun), 172-180.
- DE OLIVEIRA, L. E. Z. et al. (2020). Dynamics of residual phosphorus forms under different tillage systems in a Brazilian Oxisol. *Geoderma*, 367, 114254.
- DE SOUZA, M. F. et al. Tendências para a sustentabilidade da cafeicultura de arábica em regiões de montanha. 2019.
- DIAS, FPM. et al. (2019). Efeitos da mudança no uso da terra nos atributos químicos de um Ferralsol no Cerrado Brasileiro. *Catena*, 177, 180-188
- DOS SANTOS, C. A., et al. (2024). Estudo morfológico do capim-piatã (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã) em pré e pós-pastejo no sistema rotacionado (agronomia). *Repositório Institucional*, 2(2).
- DUTRA, V.F. Cajanus in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB8279>. Acesso em: 23 jan. 2025
- EMBRAPA–Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- EMBRAPA- Taxas e Métodos de Semeadura para *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã em Safrinha. ISSN 1983-9731 Campo Grande, MS. Novembro, 2009 <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/865/Urochloa-brizantha---brs-piata> Acesso em 01/02/2025.
- EMBRAPA PECUÁRIA SUDESTE. (2022). Estratégias de recuperação de pastagens degradadas para aumento do sequestro de carbono no solo, incluindo o consórcio com o feijão-guandu: resultados parciais. *Embrapa*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1164736/estrategias-de-recuperacao-de-pastagens-degradadas-para-aumento-do-sequestro-de-carbono-no-solo-incluindo-o-consorcio-com-o-feijao-guandu-resultados-parciais>
- EMBRAPA. (2019). *Biopromotores e luz no crescimento de Urochloa brizantha*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1115928/biopromotores-e-luz-no-crescimento-de-Urochloa-brizantha>
- EMBRAPA. (2014). BRS Piatã - *Urochloa brizantha*. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1015195>
- FERNANDES, H. M.; et al. Biomass accumulation and nutrient cycling in legume-based pasture systems. *Agricultural Systems*, v. 214, p. 103-115, 2023.
- FERREIRA, L. C. (2024). Estimativas do armazenamento de carbono no solo em áreas de agropecuária nos biomas amazônia e cerrado no estado do maranhão, brasil.

- FRANCHINI, J. et al. Sistema plantio direto. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONT000fu5hwsuy02wx5eo0c9slralhbxadb.html> Acesso em: 21 de jun de 2024
- FONSECA, D. M. et al. Qualidade nutricional e produtividade de gramíneas tropicais em consorciação com leguminosas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 73, n. 2, p. 265-273, 2021.
- GAWĘDA, D. et al. Grain Yield and Quality of Winter Wheat Depending on Previous Crop and Tillage System. *Agriculture* 2021, Vol. 11, Page 133, v. 11, n. 2, p. 133, 6 fev. 2021.
- IBGE. Rebanho de Bovinos (Bois e Vacas) no Brasil 2022 | IBGE acesso em: 27/06/2024 <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=295776>
- INMET. INMET: Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- LIMA, R. F. et al. Nitrate leaching in different soil management systems under tropical conditions. *Journal of Soil Science*, v. 32, p. 97-110, 2020.
- LIU, X.; et al. Structural adaptation and lodging resistance of leguminous forages in integrated crop-livestock systems. *Journal of Plant Science*, v. 198, p. 45-59, 2022.
- LOPES, M. F. SEQUESTRO DE CARBONO ATMOSFÉRICO NA AGROPECUÁRIA: PRÁTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS. 2023.
- MAPA. Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), 2023. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 30/05/2024
- MARCHÃO, R. L. et al. Integrated Crop–Livestock–Forestry Systems for Improved Soil Health, Environmental Benefits, and Sustainable Production. **Soil Health Series: Volume 3 Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil**, p. 19-61, 2024.
- MATTA, F. D. P., et al. (2024). Row spacing for pigeon pea sowing and its influence on the recovery of degraded pasture. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 59, e03516.
- MATTOS, J. S. de. (2021). Efeito do consórcio entre gramíneas e feijão-caupi na entressafra sobre a produção de bovinos. *Universidade Federal de Rondonópolis*. Disponível em: [https://ri.ufmt.br/bitstream/1/3784/1/DISS_2021_Jenifer%20Santos%20de%20Mattos.pdf]
- MENDONÇA, H. S.; et al. Contribution of leguminous crops to soil nitrogen balance in integrated systems. *Agronomy Journal*, v. 115, p. 210-225, 2022.
- MIRANDA, K.M. et al. A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite. *Nitric oxide*, v. 5, n. 1, p. 62-71, 2001.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html> (Acesso 22 de janeiro de 2025).

MOURA NETO, L. Eficiência simbiótica de rizóbios em feijão guandu em casa de vegetação. 2021

MOREIRA, C.D.D. et al. Desempenho do feijão guandu (*cajanus cajan*) em pastagem degradada. Anais do III CoBICET – Trabalho completo Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologiaa “15 anos dos BIs e LIs: retrospectiva, resistência e futuro. Evento online – 29 de agosto a 02 de setembro de 2022 www.even3.com.br/cobicet2022

MULVANEY, R. L. Nitrogen—inorganic forms. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, v. 5, p. 1123-1184, 1996.

MULVANEY, R. L. et al. The Illinois Soil Nitrogen Test: A rapid, accurate, and biologically relevant indicator of nitrogen availability. *Soil Science Society of America Journal*, v. 65, n. 3, p. 822-831, 2001

NGUYEN, T.T. et al. Soil Respiration, Microbial Biomass and Nutrient Availability in Soil After Addition of Residues with Adjusted N and P Concentrations. *Pedosphere*, v.27, n.1, p 76-85, 2017.

OJEDA, A. A. et al. (2022). potencial uso de leguminosas forrageiras em áreas de pastagens degradadas. *Revista Magsul de Agronomia*.

OLIVEIRA, DMdS. et al. Agricultura climaticamente inteligente e sequestro de C do solo no Cerrado brasileiro: uma revisão sistemática. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 2023 , 47 , e0220055.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. (2022). Avaliação de diferentes materiais genéticos de feijão-guandu em consórcio com capim-marandu na recuperação de pastagens degradadas. *Embrapa Pecuária Sudeste*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1142946/avaliacao-de-diferentes-materiais-geneticos-de-feijao-guandu-em-consorcio-com-capim-marandu-na-recuperacao-de-pastagens-degradadas>

OLIVEIRA, PPA. et al. Consorciação com guandu na recuperação de pastagens degradadas, uma tecnologia de duplo propósito: adubação verde e pastel consorciado diferido. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2017. (Embrapa Pecuária Sudeste. Técnica Circular, 75).

OLIVEIRA, M. T.; et al. Nitrogen mineralization and availability in Cerrado soils under different land uses. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, p. 3125-3139, 2022.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. (2024). Estratégias de recuperação de pastagens degradadas para aumento do sequestro de carbono no solo, incluindo o consórcio com o feijão-guandu: resultados parciais.

PEIXOTO, N. et al. LEGUMINOSAS: fontes seguras de proteína vegetal. Editora CRV, 2023.

PEREIRA BARSOTTI M. et al. Respostas comportamentais de bovinos de corte a diferentes sistemas de pastejo e a influência dessas respostas na produtividade hídrica de gado em uma savana tropical. *Animal*. 2024 Abr; 18(4):101117. DOI: 10.1016/j.animal.2024.101117. Epub 2024 Fev 28. PMID: 38520773.

PEREIRA, D. S. et al. (2017). Produção de forragens de cana-de-açúcar e feijão-guandu cultivados em monocultivo e consórcio. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 7(4). Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/2970>

PRIEBE et al. Modelagem para recomendação de calagem e adubação para as principais regiões produtoras de grãos do Brasil na linguagem SQL; *Ciência e Natura* v.40, Edição Especial : II mostra de projetos da UFSM - Campus Cachoeira do Sul

RIBEIRO, W. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. n. Parte de livro (capítulos de livros, trabalhos e resumos publicados em anais ou em coletâneas), 2008.

ROCHA, G.O. Características estruturais e acúmulo de forragem do capim-piatã submetido a regimes de desfolhação intermitente. 2017. 46p. Dissertação (Pós-graduação em Ciências Veterinárias) – Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: . Acesso em: 02 fev 2025.

ROCHA, G. D. O. (2022). Produção de forragem e comportamento de ovinos em pastagens com capim-marandu sob estratégias de rebaixamento para o diferimento.2022. <http://orcid.org/0000-0002-5557-2458>

SANTOS, L. A.; et al. Organic matter and microbial activity influence on soil nitrogen fractions in tropical agroecosystems. *Soil Use and Management*, v. 40, p. 501-518, 2023

SOARES, Stallone et al. The Use of Integrated Crop–Livestock Systems as a Strategy to Improve Soil Organic Matter in the Brazilian Cerrado. *Agronomy*, v. 14, n. 11, p. 2547, 2024.

SANTOS, V. A. C. dos. (2018). Respostas agronômicas e fisiológicas de *Urochloa brizantha* cv. Piatã em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002922277>

SATO, JH. et al. Fluxos de óxido nitroso em um latossolo argiloso brasileiro após 24 anos de manejo integrado de lavoura e pecuária. *Nutr Cycl Agroecosyst* 108 , 55–68 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9822-5>

SILVA, F. B. et al. (2010). Características estruturais da *Urochloa brizantha* cv. Piatã e *Cynodon* sp. cv. Tifton 85 em cultivo solteiro, consorciado com feijão-guandu ou sob

adubação nitrogenada. *Cadernos de Agroecologia*, 5(1). Disponível em: <https://revista.aba-agroecologia.org.br/cad/article/download/10155/6832/42927>

SILVA, R. F.; et al. Forage productivity and soil improvement in mixed pasture systems. *Grassland and Forage Science*, v. 79, p. 210-225, 2024.

SOUZA, E. D. et al. Dinâmica do nitrogênio em solos cultivados com gramíneas tropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 45, e020017, 2021

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAVARES, L. F. (2024). Características do sorgo forrageiro em consórcio com feijão guandu cv. BRS Guatã na recuperação de área degradada. *Universidade Estadual Paulista (UNESP)*. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/b086ba02-9dd0-4b9c-b881-23f4705f0bc3>

VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. New York: Cornell University Press, p.476. 1994.

XU, Y.; et al. Growth dynamics of pigeon pea in mixed cropping systems. *Journal of Agricultural Research*, v. 35, p. 78-92, 2020.

ZHANG, L.; et al. Stem diameter and biomass allocation as key indicators of forage adaptation. *Field Crops Research*, v. 267, p. 108-122, 2021

ANEXOS

1.0. Fotos da área experimental



Figura 1: Parcela do sistema S2 - pastagem consorciada com o *Cajanus Cajan*. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 2: Parcela do sistema S1 – pastagem solteira de *Urochloa brizantha* cv. Piatã. **Fonte:** Arquivo pessoal