

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

ALTAIR CÉSAR MOREIRA DE ANDRADE

**DINÂMICA DE N-MINERAL E PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM EM
DIFERENTES ARRANJOS CULTURAIS DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NO
CERRADO BRASILEIRO**

BRASÍLIA

2024

ALTAIR CÉSAR MOREIRA DE ANDRADE

DINÂMICA DE N-MINERAL E PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM EM DIFERENTES
ARRANJOS CULTURAIS DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NO CERRADO
BRASILEIRO

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Célio de Figueiredo

BRASÍLIA

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

ANDRADE, Altair César Moreira de

“DINÂMICA DE N-MINERAL E PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM EM DIFERENTES ARRANJOS CULTURAIS DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NO CERRADO BRASILEIRO”.

Orientação: Cícero Célio de Figueiredo, Brasília 2024. 38 páginas

Monografia de Graduação (G) – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2024.

1. Nitrogênio Mineral 2. Arranjo cultural 3. Fertilidade do solo 4. Produção de massa seca
I. Figueiredo, C.C.de. II. Drº.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, A. C. M. **Dinâmica de N-mineral e produtividade de forragem em diferentes arranjos culturais de gramíneas e leguminosas no Cerrado brasileiro**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2024, 38 páginas. Monografia.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do Autor: ALTAIR CÉSAR MOREIRA DE ANDRADE

Título da Monografia de Conclusão de Curso: Dinâmica de N-mineral e produtividade de forragem em diferentes arranjos culturais de gramíneas e leguminosas no Cerrado brasileiro.

Grau: 3º **Ano:** 2024

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

ALTAIR CÉSAR MOREIRA DE ANDRADE

CEP: 73350-105 Planaltina, DF. Brasil

ALTAIR CÉSAR MOREIRA DE ANDRADE

DINÂMICA DE N-MINERAL E PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM EM DIFERENTES
ARRANJOS CULTURAIS DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NO CERRADO
BRASILEIRO

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. CÍCERO CÉLIO DE FIGUEIREDO

Aprovado em: 28 de novembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Cícero Célio de Figueiredo (Orientador)
Doutor, Universidade de Brasília – UnB
E-mail: cicerocef@unb.br

Roberto Guimarães Júnior (Examinador)
Doutor, Embrapa Cerrados
E-mail: roberto.guimaraes-junior@embrapa.br

Gilberto Gonçalves Leite (Examinador)
PhD, Universidade de Brasília
E-mail: gleite@unb.br

Dedico este trabalho à minha família, amigos e namorada, sempre presentes nos momentos de alegria e desafios.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado forças e discernimento ao longo desses anos para chegar a esta etapa.

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram em todas as decisões. Meu pai, que, apesar de todas as dificuldades, sempre me ensinou que a educação nos leva a lugares inimagináveis. Minha mãe, que nunca mediu esforços para me ajudar, fazendo o que fosse necessário para que eu conseguisse o melhor.

Agradeço à minha namorada, que sempre foi minha fiel escudeira, desde antes da graduação, me apoiando em momentos de dificuldade e nunca me deixando desistir.

Agradeço à Dra. Alexandra, que, apesar de todos os seus deveres, sempre reservou um tempo para me ensinar e ajudar.

Agradeço ao professor Dr. Cícero, que, mesmo com todos os desafios, escolheu me orientar e me ajudar a alcançar esse sonho.

Muito obrigado a todos!

ANDRADE, ALTAIR CÉSAR MOREIRA DE. **Dinâmica de N-mineral e produtividade de forragem em diferentes arranjos culturais de gramíneas e leguminosas no Cerrado brasileiro.** 2024. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

Em regiões tropicais, a escassez de água e solos de baixa fertilidade impactam negativamente as plantas forrageiras, resultando na degradação das pastagens. No Brasil, dos 160 milhões de hectares de pastagens, 35 milhões encontram-se em degradação severa. Os consórcios são uma estratégia para a recuperação de pastagens de baixa produtividade, sendo que a diversidade de culturas, sobretudo leguminosas, pode contribuir para o aumento da fertilidade do solo, redução de externalidades e beneficiar a forrageira cultivada de forma integrada. Entre os nutrientes, o nitrogênio (N) é um forte modulador da produção agrícola, e os consórcios entre gramíneas e leguminosas têm potencial para otimizar seu uso. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo quantificar o N-mineral (nitrato e amônio) em diferentes profundidades e avaliar a produção de massa seca dos diferentes arranjos culturais, compostos com *Andropogon gayanus* BRS Sarandi e *Urochloa brizantha* BRS Piatã solteiros e em consórcios, duplos ou triplos, com o sorgo forrageiro BRS 658 e o guandu-anão IAPAR 43. O experimento foi realizado na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, em solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. Utilizou-se um delineamento em blocos ao acaso, com 4 repetições e 11 tratamentos. Foram realizadas três coletas de solos em duas épocas ao longo de um ano, sendo duas ao final dos períodos chuvosos (15/03/2022 e 13/03/2023) e uma no início do período chuvoso (04/10/2022). A determinação das formas de N mineral (NO_3^- e NH_4^+) foi feita por extração em solução de KCl, seguida de análise por injeção em fluxo (FIA). Os resultados mostraram que a forma mineral predominante de N foi a amoniacal, independentemente da época de amostragem. Os teores de amônio diminuíram com o aumento da profundidade. Além disso, a presença de sorgo, em monocultivo ou consorciado, resultou nas maiores produções de massa seca entre os diferentes arranjos culturais avaliados.

Palavras-chave: Nitrogênio mineral; Arranjo cultural; Fertilidade do solo; Produção de massa seca.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área experimental.	18
Figura 2. Croqui da área do experimento.	19
Figura 3. Precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima, média e mínima do ar (°C), Planaltina, DF.	20
Figura 4. Detalhamento da coleta de amostras de solo	21
Figura 5. Preparo, extração e determinação de N do solo.	21
Figura 6. Produção total de massa seca para os diferentes arranjos culturais. A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química e física do solo da área experimental.....	18
Tabela 2. Teores de amônio (NH_4^+) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 15/03/2022.....	24
Tabela 3. Teores de nitrato (NO_3^-) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 15/03/2022.....	25
Tabela 4. Teores de amônio (NH_4^+) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 04/10/2022.....	26
Tabela 5. Teores de nitrato (NO_3^-) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 04/10/2022.....	27
Tabela 6. Teores de amônio (NH_4^+) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 13/03/2023.....	28
Tabela 7. Teores de nitrato (NO_3^-) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 13/03/2023.....	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Pastagens no Bioma Cerrado	13
2.2 Consórcios de gramíneas e leguminosas	14
2.3 N-mineral (Nitrato e Amônio) do solo em sistemas de consórcio	15
2.4 Características das Cultivares	16
2.4.1 <i>Andropogon gayanus</i> BRS Sarandi	16
2.4.2 <i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	17
2.4.3 <i>Sorghum bicolor</i> cv. BRS 658.....	17
2.4.4 <i>Cajanus cajan</i> cv. Guandu-Anão	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 Caracterização da área de estudo	18
3.2 Instalação e Manejo do Experimento	18
3.3 Coleta, preparo e extração do N-Mineral (NO_3^- e NH_4^+)	20
3.4 Cálculo da produtividade de massa seca dos diferentes arranjos culturais.	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Coleta realizada no final do primeiro período chuvoso.....	23
4.2 Coleta realizada no início do período chuvoso.....	25
4.3 Coleta realizada no final do segundo período chuvoso	27
4.4 Produtividade de massa seca entre os diferentes arranjos culturais	29
5 CONCLUSÕES.....	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Em regiões de clima tropical, a escassez de água e a baixa fertilidade natural dos solos afetam diretamente a quantidade e a qualidade da forragem produzida. O manejo inadequado do sistema agrícola e a gestão ineficiente das atividades contribuem para a degradação das pastagens, resultando em impactos negativos para o meio ambiente (Barcellos et al., 2008). Conceitualmente, a degradação refere-se ao processo evolutivo de perda de vigor, produtividade e da capacidade de recuperação natural da pastagem, tornando-a incapaz de manter as taxas de lotação (Macedo, 1995). Esse processo pode ser amenizado a partir da escolha da espécie forrageira condizente com clima e solo da região, com um manejo cultural adequado e com a reposição periódica de nutrientes.

As áreas de pastagens naturais e plantadas no Brasil somam cerca de 160 milhões de hectares e desse total, 58 milhões de hectares são consideradas em “boas condições para cultivo”, 66 milhões de qualidade “intermediária” e 35 milhões “em degradação severa”, onde as pastagens de baixa produtividade são consideradas um grande obstáculo para ampliação da produção agropecuária brasileira (Bolfe et al., 2024). Diante desse cenário, o manejo de pastagens torna-se uma ferramenta importante, sendo a diversificação e o consórcio de gramíneas com leguminosas uma alternativa para melhorar a produtividade das culturas de interesse econômico (Xavier et al., 2013). A inclusão de leguminosas no sistema de pastagens melhora a fertilidade do solo e reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados, já que possuem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico por meio de relações simbióticas com rizobactérias (Massawe et al., 2016).

O nitrogênio (N) é um elemento chave para garantir o rendimento máximo das culturas e a segurança alimentar (Zhang et al., 2021; Houlton et al., 2019; Robertson et al., 2009). Em 2023, o uso mundial de fertilizantes nitrogenados foi estimado em aproximadamente 155 milhões de toneladas (FAO, 2024). O uso de fertilizantes nitrogenados é elevado, uma vez que apenas cerca de 50% do N do fertilizante é recuperado pelas plantas e ainda está sujeito a perdas por lixiviação (NO_3^-), emissões gasosas (N_2O), volatilização de amônia (NH_3^+) e escoamento superficial (Rosolem et al., 2017). O nitrogênio é um nutriente com dinâmica importante no sistema solo-planta-atmosfera (Stein; Klotz, 2016), e o conhecimento da dinâmica desse elemento no solo pode facilitar a tomada de decisões sobre o uso mais confiável, eficiente e sustentável desse insumo (Christensen et al., 2019). Em sistemas de consórcio, parte do N aplicado para a cultura comercial é recuperado pela planta forrageira sendo mantido no sistema solo-planta (Gazola et al., 2024).

O aporte de N fornecido pelas leguminosas via fixação biológica é uma importante fonte de N para as culturas comerciais cultivadas em consórcio ou em sucessão às leguminosas. Entretanto, embora algumas espécies utilizadas como adubos verdes apresentem alta concentração de N na parte aérea, a quantidade de N que será aproveitada pela cultura em sucessão dependerá do sincronismo entre a decomposição da biomassa e a demanda da cultura (Aita et al., 2001).

As plantas leguminosas possuem a capacidade de aumentar significativamente a disponibilidade de N do solo, em vários ecossistemas e climas (Gou et al., 2023), sendo que, em condições tropicais, as altas temperaturas têm papel importante na decomposição de resíduos (Muniz et al., 2020), que associadas sob a forma de consórcios, trazem benefícios às gramíneas (Ayarza et al., 2022). Neste contexto, o consórcio com plantas de cobertura altera os níveis de N no solo (Lucadamo et al., 2022) e precisam ser estudadas em diversos arranjos culturais.

A hipótese deste estudo é que diferentes arranjos culturais de gramíneas e leguminosas em sistemas consorciados no Cerrado brasileiro proporcionam diferenças significativas na disponibilidade de N mineral (nitrato e amônio) e alterem a produção de massa seca das espécies avaliadas.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi quantificar o N-mineral (nitrato e amônio) em diferentes profundidades e avaliar a produção de massa seca dos diferentes arranjos culturais, compostos com *Andropogon gayanus* BRS Sarandi e *Urochloa brizantha* BRS Piatã solteiros e em consórcios, duplos ou triplos, com o sorgo forrageiro BRS 658 e o guandu-anão IAPAR 43.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PASTAGENS NO BIOMA CERRADO

O bioma Cerrado é classificado como um dos principais *hotspots* de biodiversidade do planeta (Myers et al., 2000) e é a savana com maior diversidade biológica globalmente. Este bioma abriga mais de 10.000 espécies de plantas e possui uma alta taxa de endemismo. (Simon et al., 2009). O Cerrado ocupa aproximadamente 200 milhões de hectares, o que corresponde a 24% do território brasileiro, e está presente em 1.389 municípios nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia, Rondônia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e no Distrito Federal (Bolfe et al., 2024).

De um total de 12 regiões hidrológicas presentes no Brasil, oito estão situadas no Cerrado, incluindo a segunda maior reserva subterrânea de água doce mundial, o Aquífero Guarani (Reis et al., 2017). Esse importante bioma contribui com cerca de 52% da produção brasileira de soja, 54% do milho, 96% do algodão, 51% da cana-de-açúcar e 35% do rebanho bovino (IBGE, 2022), sendo que 28% de sua área é formada por pastagens (Vieira et al., 2021).

Grande parte da área do Cerrado desempenha um papel fundamental na produção agropecuária brasileira (Bolfe et al., 2020). Entretanto, práticas inadequadas de monocultivo nessa região causam perdas de produtividade, além da alta suscetibilidade à perda de solo, água e nutrientes (Silva et al., 2021). A degradação de pastagens é um problema significativo na agricultura brasileira, afetando a produtividade e o meio ambiente (Cruz et al., 2022). Em áreas de lavouras temporárias e pastagens, a falta de boas práticas agronômicas resultam em baixas qualidades dos solos, corroborando com uma baixa produtividade e elevada erosão (Balbino, 2001; Hernani et al., 2002).

Segundo dados do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (LAPIG) (LAPIG, 2022), 28,57% da área do Bioma Cerrado é formada por pastagens, das quais 15 milhões de hectares são considerados degradados em situação severa. O processo é causado por práticas inadequadas de manejo, incluindo a seleção inadequada de espécies forrageiras, manejo inadequado do pastejo e uso de fogo (Cruz et al., 2022). A degradação causa perda de produtividade, sendo seus principais indicadores a diminuição da fertilidade do solo, a erosão e a populações de plantas invasoras, causando desequilíbrio ambiental e perdas econômicas (Cruz et al., 2022; Souza et al., 2021).

Dessa forma, práticas de conservação dos recursos naturais podem minimizar os efeitos da degradação, ajudando no controle das mudanças climáticas e reduzindo impactos ambientais (Santos, 2021), sendo que um manejo adequado do pasto possui grande potencial para mitigar esses impactos, devido à sua capacidade de sequestrar carbono (Dias Filho, 2011).

A recuperação de pastagens é necessária para melhorar a produção pecuária e a restauração florestal (Feltran-Barbieri; Feres, 2021), sendo caracterizada pelo restabelecimento da produção de forragem, podendo manter a espécie ou cultivar, ou realizando a renovação, que envolve a introdução de uma nova espécie ou cultivar em substituição à degradada (Macedo et al., 2000). Em regiões tropicais, principalmente no Cerrado brasileiro, a adoção de novos sistemas de cultivo que evitem o revolvimento do solo e que promovam o uso de plantas de cobertura é essencial para uma produção agrícola sustentável (Scopel et al., 2005). Conforme estudos de Gioia et al. (2013), a adubação verde, tanto em sucessão quanto em rotação de culturas, é uma prática conservacionista eficaz, pois economiza fertilizantes, pode ser usada para descompactar o solo, além de promover melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, resultando em maiores produtividades das culturas.

2.2 CONSÓRCIOS DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS

Historicamente, as atividades agrícolas têm contribuído para a intensificação da degradação dos solos, especialmente com a implantação de monocultivos e práticas inadequadas que reduzem a cobertura do solo, resultando na exaustão da fertilidade e na diminuição da capacidade de armazenamento de água (Moura; Lacerda; Ramos, 2013). Assim, a adoção de técnicas de manejo sustentável torna-se essencial (Terra et al., 2019).

Os programas de recuperação das pastagens são divididos em dois métodos: direto e indireto. Os métodos diretos são utilizados quando as pastagens apresentam um grau inicial de degradação, utilizando práticas mecânicas e químicas sobre a área (Carvalho et al., 2017). Por outro lado, os métodos indiretos são aplicados em pastagens com elevado grau de degradação, consistindo em consorciar a pastagem com outras culturas para viabilizar economicamente sua recuperação (Aguirre et al., 2014).

Os consórcios entre gramíneas e leguminosas proporcionam diversos benefícios agronômicos, sendo fundamentais para a recuperação de áreas degradadas devido à capacidade das leguminosas de se associarem a bactérias fixadoras de N, estimulando o desenvolvimento das gramíneas (Ojeda et al., 2022). A técnica de consórcio, além melhorar aspectos na cobertura do solo, provoca melhoria da produtividade das culturas de interesse (Xavier et al., 2013).

O uso de leguminosas contribui para o aumento da quantidade e qualidade das forragens disponíveis nas pastagens (Paciullo et al., 2003). Borges et al. (2018) observaram que o sorgo (*Sorghum bicolor*) em consórcio com leguminosas apresentou um aumento significativo na produção de biomassa e nutrientes disponíveis para culturas subsequentes. Outros pesquisadores, como Gazola et al. (2024), destacam que N residual em sistemas consorciados

pode ser recuperado pelas culturas de sucessão, contribuindo para a eficiência do uso de fertilizantes.

Estudos demonstraram que o cultivo de gramíneas e leguminosas melhora a qualidade do solo, aumentando a biomassa microbiana e atividade enzimática (Silva et al., 2022; Moraes et al., 2021). Essa prática também aumenta os estoques de carbono e nitrogênio do solo, além de aumentar a produtividade de soja em rotação em até em 24%, em comparação com monocultura de gramíneas (Moraes et al., 2021).

Portanto, cultivos consorciados são capazes de reduzir a necessidade de insumos químicos, como fertilizantes, herbicidas e pesticidas (Nweke, 2020), além de aumentar a produção geral das culturas (Marcos-Pérez et al., 2023) e melhorar a qualidade do solo aumentando o nitrogênio disponível (Tang et al., 2020).

2.3 N-MINERAL (NITRATO E AMÔNIO) DO SOLO EM SISTEMAS DE CONSÓRCIO

O nitrogênio é um elemento essencial na formação de compostos orgânicos que promovem o desenvolvimento das plantas (Taiz; Zeiger, 2002). Para aumentar a produtividade das culturas, o uso de fertilizantes nitrogenados tem sido amplamente adotado, e quando aplicados de forma eficiente, podem resultar em altos rendimentos. Porém, o seu uso excessivo pode causar problemas ambientais, como poluição da água e emissão de gases de efeito estufa, afetando a biodiversidade e a qualidade do solo (Vitousek et al., 2013). Os sistemas de pastagens tropicais desempenham papel essencial na agricultura, contribuindo com os esforços de mitigação das mudanças climáticas (Gorfu et al., 2021). Entender a dinâmica dos nutrientes, especialmente do N, é fundamental para a sustentabilidade desses sistemas (Souza et al., 2018; Dubeux et al., 2020). A quantificação da entrada e saída de nutrientes é, portanto, vital para o manejo sustentável das pastagens (Nascimento et al., 2024).

Um dos principais fatores que limita o crescimento e a manutenção de gramíneas nos trópicos, é a deficiência de N no solo, levando à degradação das pastagens (Oliveira et al., 2021). Mudanças no manejo do solo, como a adoção de práticas conservacionistas, podem aumentar os valores de N-Total (Wuaden et al., 2023). Em um sistema de pastejo estratégico são geradas mudanças promissoras nos serviços ecossistêmicos, como um aumento no carbono ativo, taxa de respiração consistente e água de escoamento mais limpa, reduzindo a perda de N (Dahal et al., 2020).

A concentração de N total está ligada a diversos compostos orgânicos, com as formas inorgânicas geralmente representando menos de 5% do total (Whiethölter, 2000). Aproximadamente 95% do N presente no solo está na forma orgânica, mas apenas cerca de

metade desses compostos foi identificada. Além do N orgânico, existem formas inorgânicas minerais (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), bem caracterizadas e quantificáveis. Embora sua concentração no solo seja menor que a da fração orgânica, essas formas desempenham um papel crucial na nutrição das plantas e nos processos do ciclo do N, visto que o N mineral (Nitrato e Amônio) é a forma que a planta tem melhor assimilação (Vieira, 2017).

Práticas de manejo sustentável, como a utilização de leguminosas, que têm a capacidade de fixar N, em sistemas de integração, são abordagens promissoras para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados solúveis (Mng'ong'o et al., 2023). O uso de leguminosas arbóreas consorciadas com gramíneas tropicais aumenta tanto a deposição de serrapilheira quanto o retorno de N ao solo, em comparação a sistemas de monocultivo (Xavier et al., 2011). Estudos de Soumare et al. (2020) e Xu et al. (2023) também observaram efeitos positivos da adição de espécies de leguminosas em pastagens, resultando em aumentos na produção de forragem e redução na demanda por N inorgânico.

Em pastagens tropicais, as leguminosas podem obter cerca de 80% de seu N da fixação simbiótica, possivelmente transferindo N para as gramíneas associadas (Villegas et al., 2020). Ao estudarem um cultivo intercalar do capim-braquiária com uma planta leguminosa, Junior et al. (2020) observaram que ocorreram aumentos dos estoques de carbono do solo em até 45%, enquanto triplicou os estoques de N em dois anos.

2.4 CARACTERÍSTICAS DAS CULTIVARES

2.4.1 *Andropogon gayanus* BRS Sarandi

O capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus* Kunth) tem sua origem na África, com quatro variedades botânicas, destacando-se a *bismquamulatus* como a mais produtiva e adaptada às savanas tropicais (Grof; Thomas, 1984), sendo uma das espécies mais cultivadas no Cerrado brasileiro (Jank et al., 2014).

Após anos de melhoramento, em 2019 foi lançada a nova cultivar *Andropogon gayanus* Kunth, o BRS Sarandi, nome que faz referência à localização onde a Embrapa Cerrados foi instalada (Carvalho et al., 2021).

Como características morfológicas, a cultivar BRS Sarandi apresenta plantas com porte médio a alto, são cespitosas e possuem rizomas curtos e ramificados, suas raízes são fibrosas e superficiais, bem ramificadas com raízes finas e profundas. As touceiras são bem definidas e as folhas são finas, lanceoladas, pilosas em ambas as faces e na bainha, com a nervura principal bem evidente e destacada na base da lâmina foliar, lembrando um pseudopecíolo (Carvalho et al., 2021).

2.4.2 *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã

A cultivar Piatã (*Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã) foi desenvolvida a partir da coleção de forrageiras da Embrapa, originalmente coletada pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), entre 1984 e 1985, na África (Almeida et al., 2009). Foi lançada em 2007 como mais uma alternativa para as pastagens brasileiras (Pereira et al., 2016).

Como características morfológicas, as plantas apresentam crescimento ereto e cespitoso, de porte médio, com altura entre 0,85 m e 1,10 m (Almeida et al., 2009), colmos verdes, finos, bainhas foliares com pouca pilosidade, lâmina foliar sem pilosidade, apresenta perfilhamento aéreo e inflorescência característica apresentando muitos ramos (Pereira et al., 2016).

2.4.3 *Sorghum bicolor* cv. BRS 658

O sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BRS 658) pode ser utilizado tanto para alimentação humana quanto na alimentação animal (Peerzada et al., 2017). O sorgo é classificado em quatro grupos: granífero, forrageiro para silagem ou sacarino, forrageiro para pastejo/corte verde /fenação/cobertura morta e o sorgo tipo vassoura (Pereira et al., 2016).

O BRS 658, híbrido forrageiro produzido pela Embrapa Milho e Sorgo, possui como características porte alto, ciclo vegetativo ideal para ensilagem, colmos secos, além de apresentar resistência ao acamamento (Embrapa, 2016).

2.4.4 *Cajanus cajan* cv. Guandu-Anão

Existe uma incerteza quando se fala da origem do Guandu (*Cajanus cajan* [L.]), mas tem-se a teoria de que muito provavelmente originou-se na Índia e na África Tropical Ocidental. É uma planta de característica arbustiva, anual ou semiperene e apresenta crescimento determinado ou indeterminado (Wutke et al., 2023). Essa espécie possui raiz radicular pivotante, podendo penetrar até dois metros no solo. Suas características permitem que seja utilizada tanto na alimentação humana quanto para alimentação animal (Godoy et al., 2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina – DF, Brasil ($15^{\circ}33'33,99''$ S, $47^{\circ}44'12,32''$ W e altitude de 1.035 m) (Figura 1). O clima é sazonal, classificado como Aw (Köppen), com uma estação seca no inverno e chuvosa no verão (Alvares 2013). A média de precipitação anual de Planaltina é de 1346 mm, com temperaturas máximas e mínimas variando $26,5^{\circ}\text{C}$ a $29,8^{\circ}\text{C}$, e $13,2^{\circ}\text{C}$ a $17,9^{\circ}\text{C}$, respectivamente (Silva et al., 2017). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2018), e foi submetido a análises físicas e químicas antes da instalação do experimento (Tabela 1).

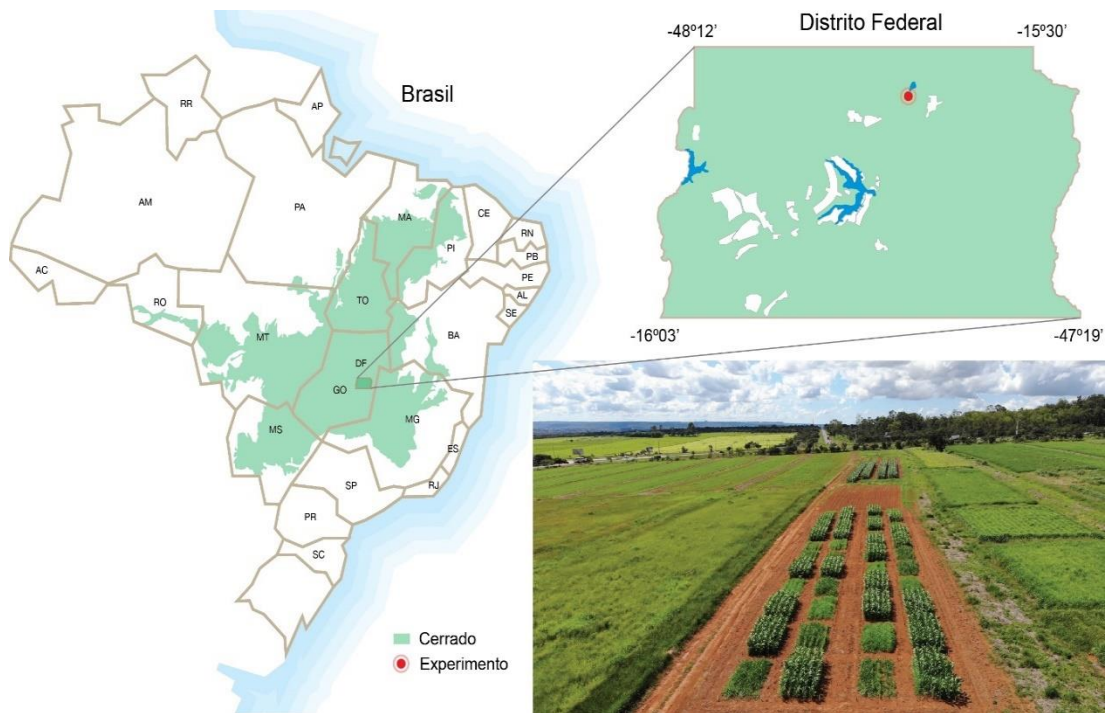


Figura 1. Mapa de localização da área experimental.

Fonte: Wellington Cavalcanti, 2024.

Tabela 1. Análise química e física do solo da área experimental.

Profundidade (cm)	pH (CaCl ₂)	Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	H+Al (cmol _c dm ⁻³)	K (mg kg ⁻¹)	P (mg kg ⁻¹)	Areia (%)	Argila (%)	Silte (%)
0-20	4,2	0,82	5,7	88	3	13,5	52,3	34,2

3.2 INSTALAÇÃO E MANEJO DO EXPERIMENTO

Para correção do solo, foram utilizadas as doses de 4 t/ha de calcário dolomítico, 2 t/ha de gesso agrícola e 200 kg/ha de MAP (60% P₂O₅). A adubação realizada na área pré-plantio

utilizou a seguinte formulação de N, P e K: 4-30-16, com uma dose de 400 kg/ha. Ainda antes do plantio, foi realizada uma dessecação de plantas invasoras com aplicação de 4 L/ha de glifosato (480g/L), utilizando uma barra pulverizadora. O plantio foi realizado em 26/11/2021, as parcelas mediam 15 m² (5 m x 3 m), com espaçamento de 1,0 m entre parcelas. O experimento apresentou um total de 44 parcelas (Figura 2).

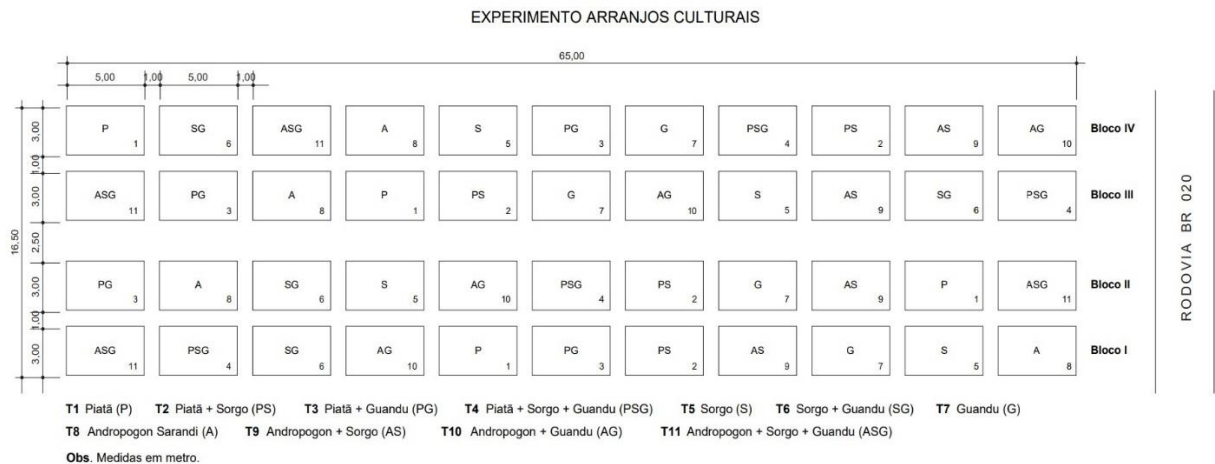


Figura 2. Croqui da área do experimento.

Fonte: Wellington Cavalcanti, 2024.

O plantio das gramíneas forrageiras, Andropogon e Piatã, antecedeu o plantio de Sorgo e do Guandu, e foi realizado com taxa de semeadura de 4 kg SPV/ha com sementes distribuídas a lança manualmente. No momento do plantio do Sorgo (9 sementes/m) e do guandu-anão (15 sementes/m), as sementes das forrageiras foram incorporadas com o auxílio da semeadora utilizada no plantio.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos por 11 tipos de arranjos culturais, representados por monocultivos (solteiro) e consórcios duplos e triplos:

- 1) Piatã solteiro;
- 2) Piatã + sorgo;
- 3) Piatã + guandu;
- 4) Piatã + sorgo + guandu;
- 5) Sorgo solteiro;
- 6) Sorgo + guandu;
- 7) Guandu solteiro;
- 8) Andropogon solteiro;
- 9) Andropogon + guandu;
- 10) Andropogon + sorgo;
- 11) Andropogon + sorgo + guandu.

Conduzido de novembro de 2021 a março de 2023, com as setas indicando os meses que foram feitas as amostragens de solo, a precipitação pluviométrica do período avaliado, apresentou uma média de 101,03 mm mensais (Figura 3).

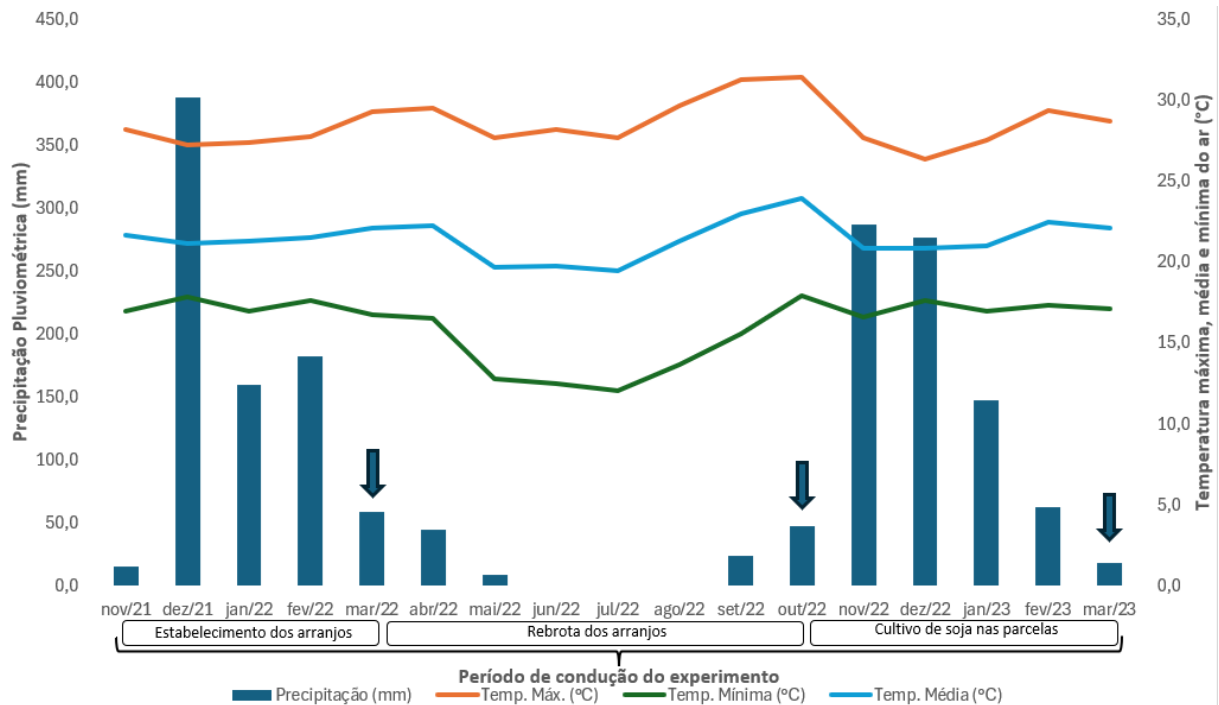


Figura 3. Precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima, média e mínima do ar (°C), Planaltina, DF.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

3.3 COLETA, PREPARO E EXTRAÇÃO DO N-MINERAL (NO_3^- E NH_4^+)

Foram realizadas três coletas de solo em duas épocas diferentes ao longo de um ano, duas coletas ao final dos períodos chuvosos em 15/03/2022 e 13/03/2023, e uma coleta no início do período chuvoso, 04/10/2022. As amostragens foram realizadas nas seguintes profundidades: 0-10 cm; 10-20 cm; e 20-40 cm, coletando sete subamostras em cada parcela experimental, para formar uma amostra composta (Figura 4).

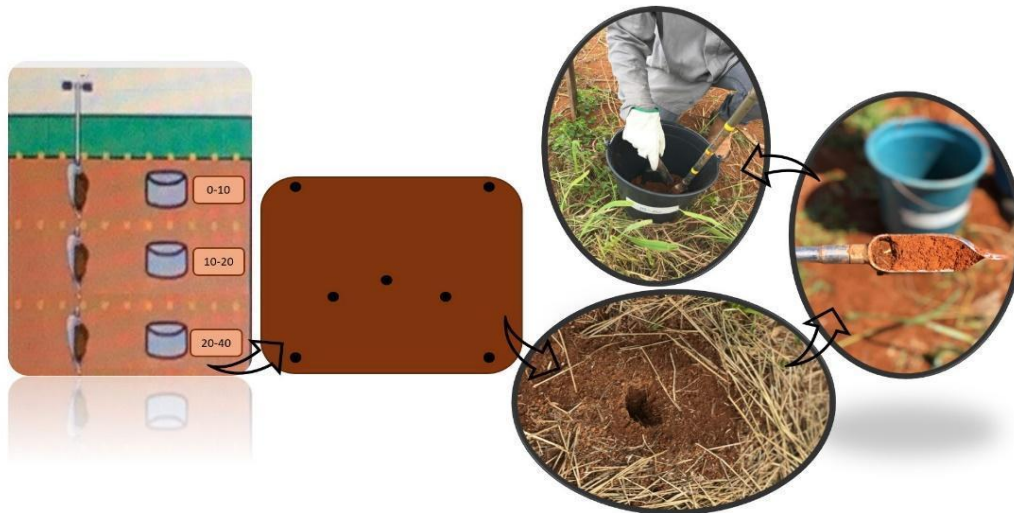


Figura 4. Detalhamento da coleta de amostras de solo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

De cada amostra de solo foi retirada uma subamostra que foi pesada e colocada para secagem em estufa a 105 °C por 72 horas, para determinação da umidade do solo por gravimetria. As formas de N mineral (NO_3^- e NH_4^+) foram extraídas com 50 ml de solução de KCl 2 mol L^{-1} , de acordo com a metodologia proposta por Bremner e Mulvaney (1982). Após a extração, foi realizada a leitura por análise de injeção em fluxo (FIA) (Hambridge, 2007 a,b) (Figura 5).



Figura 5. Preparo, extração e determinação de N do solo.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2016) e Silva (2020).

Os dados foram submetidos a análise estatística, onde foram verificadas a normalidade de resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk e homocedasticidade pelo teste de Bartlett. Atendidos

os pressupostos de normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey HSD ($p = 0,05$).

3.4 CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA DOS DIFERENTES ARRANJOS CULTURAIS.

A produtividade dos diferentes arranjos culturais foi avaliada 103 dias após o plantio, período que coincide com o ponto de ensilagem do sorgo, sendo feito um corte de 20 cm de altura do solo. A área de cada parcela para a realização das amostras foi de 4,5 m² (1,5 m x 3 m) e foi realizada a secagem em estufa, por 72h a 55°C. Após as pesagens foram feitos os cálculos para transformação da produtividade para kg/ha. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey HSD ($p = 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COLETA REALIZADA NO FINAL DO PRIMEIRO PERÍODO CHUVOSO

Os teores de amônio nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm são apresentados na Tabela 2, onde observa-se que os arranjos culturais não promoveram diferenças significativas nos teores de amônio do solo coletado em 15/03/2022, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, indicando uma distribuição relativamente homogênea do amônio nas camadas superficiais do solo, variando entre 6,99 mg/kg solo e 11,92 mg/kg solo. Entretanto, na profundidade de 20-40 cm, foi possível notar diferença entre os arranjos culturais. O solo cultivado com *Andropogon solteiro* (A) apresentou maior teor de amônio (9,28 mg/kg) quando comparado ao Guandu (4,15 mg/kg solo) e Piatã (4,32 mg/kg solo). Além disso, o consórcio de *Andropogon* + Guandu (AG) promoveu baixo teor de amônio (4,33 mg/kg solo), valor próximo aos obtidos por Carvalho et al. (2024), onde o solo cultivado com Guandu solteiro (G) apresentou 3,22 mg/kg de amônio na profundidade de 20-40 cm. De maneira geral, os teores de amônio foram reduzindo com a profundidade do solo, com menores teores na camada (20-40 cm), para todos os tratamentos, exceto *Andropogon solteiro* (A), que manteve teores similares em todas as profundidades avaliadas (Tabela 2). Esses resultados podem estar relacionados aos ciclos de nutrientes das gramíneas, que tendem a ter uma boa capacidade de exploração do solo e ciclagem de nutrientes. Estudos como o de Baptistella et al. (2020) indicam que as gramíneas podem melhorar a eficiência do uso de N por meio da inibição biológica da nitrificação, reduzindo as perdas de N por desnitrificação e lixiviação. O consórcio entre gramíneas e leguminosas é utilizado com o objetivo de melhorar a qualidade do solo e aumentar a produtividade das culturas (Moraes et al., 2021), porém pode ocorrer uma competição por N entre as plantas cultivadas. Assim, o arranjo espacial das culturas influencia a dinâmica do N, com alguns arranjos otimizando a eficiência do uso do N e a produtividade das culturas (Chen et al., 2022).

Tabela 2. Teores de amônio (NH₄⁺) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 15/03/2022.

Arranjo cultural	NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
A	11,43 (± 1,53) aA	9,19 (± 0,93) aA	9,28 (± 7,27) aA
G	9,53 (± 2,79) aA	6,99 (± 1,46) aA	4,15 (± 1,58) bB
P	11,92 (± 2,38) aA	8,55 (± 2,30) bA	4,32 (± 0,84) cB
S	11,11 (± 0,95) aA	8,36 (± 0,64) aA	4,73 (± 1,36) bAB
AG	10,38 (± 1,98) aA	8,42 (± 1,96) aA	4,33 (± 1,44) bB
AS	9,75 (± 2,07) aA	7,05 (± 0,99) abA	5,17 (± 2,23) bAB
PS	10,17 (± 3,79) aA	8,86 (± 2,60) aA	4,98 (± 2,54) bAB
PG	11,79 (± 3,50) aA	8,33 (± 1,68) bA	4,90 (± 0,43) cAB
SG	10,97 (± 3,11) aA	9,20 (± 1,21) abA	6,70 (± 2,45) bAB
ASG	11,55 (± 4,32) aA	8,51 (± 1,47) aA	4,88 (± 1,71) bAB
PSG	10,73 (± 2,96) aA	7,39 (± 2,08) bA	5,86 (± 1,90) bAB

A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão da média.

Semelhante ao comportamento do amônio, os teores de nitrato do solo da primeira coleta não foram afetados pelos arranjos culturais nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm. No entanto, na profundidade de 20-40 cm, o solo com Andropogon solteiro (A) destacou-se, apresentando 3,17 mg/kg de nitrato, valor superior aos demais arranjos solteiros e com consórcios duplos. Apenas os consórcios triplos foram capazes de igualar os teores de nitrato do Andropogon solteiro (Tabela 3). Esse resultado pode indicar uma capacidade superior do Andropogon em explorar recursos hídricos e nutrientes em camadas mais profundas do solo, corroborando com estudos que destacam o papel das raízes profundas de gramíneas na eficiência de absorção de nutrientes (Odone et al., 2023). A utilização de consórcios triplos pode, assim, ser otimizada em condições que a profundidade do solo é um fator limitante.

Tabela 3. Teores de nitrato (NO_3^-) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 15/03/2022.

Arranjo cultural	NO_3^- (mg kg ⁻¹)		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
A	1,78 (\pm 0,30) bA	1,83 (\pm 0,16) bA	3,17 (\pm 2,65) aA
G	1,65 (\pm 0,37) aA	1,71 (\pm 0,37) aA	1,35 (\pm 0,27) aB
P	1,74 (\pm 0,14) aA	1,64 (\pm 0,46) aA	1,71 (\pm 0,22) aB
S	1,70 (\pm 0,13) aA	2,03 (\pm 0,25) aA	1,72 (\pm 0,48) aB
AG	1,84 (\pm 0,21) aA	1,80 (\pm 0,58) aA	1,73 (\pm 0,28) aB
AS	1,82 (\pm 0,21) aA	1,74 (\pm 0,08) aA	1,53 (\pm 0,34) aB
PS	1,96 (\pm 0,30) aA	1,47 (\pm 0,39) aA	1,58 (\pm 0,49) aB
PG	1,42 (\pm 0,79) aA	1,81 (\pm 0,55) aA	1,67 (\pm 0,22) aB
SG	1,74 (\pm 0,50) aA	1,89 (\pm 0,74) aA	1,41 (\pm 0,36) aB
ASG	1,44 (\pm 0,47) aA	2,04 (\pm 0,28) aA	1,88 (\pm 0,31) aAB
PSG	1,91 (\pm 0,35) aA	1,8 (\pm 0,75) aA	1,77 (\pm 0,27) aAB

A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão da média.

4.2 COLETA REALIZADA NO INÍCIO DO PERÍODO CHUVOSO

A tabela 4 apresenta os teores de amônio nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, na coleta realizada no dia 04/10/2022. Os arranjos culturais não promoveram diferenças significativas para os teores de amônio nas profundidades avaliadas. Esse resultado sugere que a mineralização do N do solo não foi significativamente influenciada pelas práticas de cultivo, corroborando os resultados de Carvalho et al. (2024), onde, em uma coleta de solo realizada no início do período chuvoso, não observaram diferenças significativas entre profundidades, em sistema de plantio direto de milho em sucessão a plantas de cobertura. Quando avaliadas as variações entre profundidades, para cada arranjo, verifica-se que na camada de 20-40 cm, os tratamentos solteiros (A, G, P e S) e o consórcio triplo (ASG) apresentaram os menores teores de amônio nessa profundidade, variando entre 4,10 mg/kg solo e 6,79 mg/kg solo (Tabela 4). Resultados semelhantes foram relatados por Espindula et al. (2021), na cultura do café, com menores teores de amônio verificados na camada mais profunda do solo avaliada (20-40cm). A ausência de diferença dos valores observados entre os tratamentos ressalta a importância de explorar estratégias de manejo que otimizem a disponibilidade de nutrientes e a sincronização dessa disponibilidade com a cultura subsequente para diferentes camadas do solo.

Tabela 4. Teores de amônio (NH_4^+) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 04/10/2022.

Arranjo cultural	NH_4^+ (mg kg ⁻¹)		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
A	9,01 (± 3,80) a	6,58 (± 3,72) ab	4,28 (± 2,60) b
G	9,46 (± 1,07) a	6,85 (± 1,85) ab	4,72 (± 1,69) b
P	8,63 (± 3,77) a	7,23 (± 4,05) ab	4,10 (± 2,79) b
S	11,00 (± 2,56) a	8,19 (± 4,02) ab	6,79 (± 3,88) b
AG	7,81 (± 3,82) a	7,01 (± 3,54) a	4,60 (± 3,09) a
AS	7,76 (± 2,96) a	7,39 (± 2,63) a	4,20 (± 2,40) a
PS	8,45 (± 3,38) a	8,78 (± 5,60) a	8,71 (± 9,65) a
PG	8,16 (± 2,63) a	6,40 (± 3,40) a	4,76 (± 2,88) a
SG	8,33 (± 2,43) a	8,48 (± 3,93) a	6,24 (± 3,53) a
ASG	9,24 (± 3,17) a	7,22 (± 3,72) a	6,13 (± 3,30) a
PSG	8,80 (± 2,90) a	7,98 (± 4,27) a	4,27 (± 2,91) b

A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão da média.

Os arranjos culturais avaliados promoveram diferenças significativas nos teores de nitrato na profundidade de 10-20 cm. Nessa camada, o consórcio duplo de Andropogon + Sorgo (AS) promoveu maior teor de nitrato no solo (10,79 mg/kg solo), enquanto o solo com cultivos solteiros, Andropogon, Guandu, Piatã e Sorgo, (A, G, P e S), apresentaram menores teores de nitrato, variando entre 4,46 mg/kg solo e 4,81 mg/kg solo, o que representa uma diferença superior a 50%. Além disso, o consórcio duplo Piatã + Guandu (PG) (4,91 mg/kg solo) também apresentou um valor menor do que o consórcio Andropogon + Sorgo (AS), sendo integrante do grupo de tratamentos que apresentaram a menor disponibilidade de nitrato (Tabela 5).

Analisando cada tratamento em suas diferentes profundidades, observou-se que na camada de 20-40 cm, o solo cultivado com Guandu solteiro (G) teve o menor valor de nitrato, com 3,03 mg/kg solo, e o seu maior valor encontrado na profundidade mais superficial (0-10 cm), sugerindo uma redução na capacidade desta planta de manter níveis adequados de nitrato em profundidades maiores. Resultados semelhantes foram apresentados por d'Andréa et al. (2004), que constataram que os maiores teores de nitrato foram observados em profundidades superficiais de solos agrícolas no Cerrado. Em contraste, o tratamento com Andropogon + Sorgo (AS) manteve-se superior na profundidade de 10-20 cm, apresentando um valor de 10,79 mg/kg solo, sugerindo o efeito de inibição biológica da nitrificação (BNI) das raízes do sorgo, que pode beneficiar suas culturas vizinhas, reduzindo as taxas de nitrificação do solo e as emissões de N_2O (Zhang et al., 2023).

Tabela 5. Teores de nitrato (NO_3^-) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 04/10/2022.

Arranjo cultural	NO_3^- (mg kg ⁻¹)		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
A	4,44 (± 4,06) aA	4,69 (± 4,96) aB	4,12 (± 5,77) aA
G	7,74 (± 3,64) aA	4,46 (± 2,61) abB	3,03 (± 1,33) bA
P	4,28 (± 4,01) aA	4,66 (± 5,05) aB	2,39 (± 1,84) aA
S	6,86 (± 4,38) aA	4,81 (± 3,82) aB	4,12 (± 3,46) aA
AG	4,83 (± 4,18) aA	5,44 (± 6,42) aAB	3,66 (± 4,06) aA
AS	5,54 (± 4,92) bA	10,79 (± 16,04) aA	4,64 (± 5,43) bA
PS	5,74 (± 4,31) aA	5,20 (± 5,21) aAB	3,35 (± 3,03) aA
PG	6,01 (± 6,97) aA	4,91 (± 5,34) aB	3,79 (± 4,14) aA
SG	6,71 (± 4,88) aA	5,69 (± 5,12) aAB	4,25 (± 3,71) aA
ASG	6,56 (± 3,93) aA	4,97 (± 5,06) aB	2,50 (± 2,35) aA
PSG	6,42 (± 5,93) aA	5,20 (± 4,89) aAB	3,03 (± 2,73) aA

A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão da média.

4.3 COLETA REALIZADA NO FINAL DO SEGUNDO PERÍODO CHUVOSO

A tabela 6 apresenta os teores de amônio nas profundidades 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, onde verifica-se que os teores de amônio, na profundidade de 10-20 cm, foram maiores nos arranjos culturais com Andropogon solteiro (A) e o consórcio duplo Piatã + Guandu (PG) de 9,07 mg/kg solo e 8,73 mg/kg solo, respectivamente, comparados ao Guandu solteiro (G) (5,86 mg/kg solo) (Tabela 6). Nas diferentes profundidades, observou-se que os menores teores de amônio foram registrados na profundidade de 20-40 cm, com uma média de 5,36 mg/kg solo. Resultados distintos aos obtidos por d'Andréa et al. (2004), onde, em sistema com pastagem, teores similares de amônio foram obtidos ao longo do perfil do solo.

Tabela 6. Teores de amônio (NH₄⁺) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 13/03/2023.

Arranjo cultural	NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
A	9,36 (± 2,41) aA	9,07 (± 2,67) aA	5,23 (± 2,14) bA
G	7,11 (± 2,77) aA	5,86 (± 1,24) abB	4,43 (± 0,93) bA
P	8,75 (± 2,14) aA	8,23 (± 1,15) aAB	5,88 (± 1,17) bA
S	8,02 (± 2,06) aA	7,78 (± 0,73) aAB	5,41 (± 0,87) bA
AG	8,66 (± 2,25) aA	8,36 (± 3,47) aAB	5,78 (± 1,00) bA
AS	7,83 (± 1,24) aA	7,12 (± 1,68) aAB	4,66 (± 0,81) bA
PS	7,80 (± 1,63) aA	7,40 (± 1,32) aAB	5,13 (± 0,93) bA
PG	8,42 (± 1,33) aA	8,73 (± 1,65) aA	6,09 (± 1,21) bA
SG	8,56 (± 2,17) aA	8,24 (± 1,80) aAB	6,18 (± 0,90) bA
ASG	8,59 (± 2,42) aA	7,81 (± 1,94) aAB	5,38 (± 1,40) bA
PSG	8,23 (± 1,26) aA	7,65 (± 1,12) aAB	4,84 (± 0,49) bA

A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão da média.

Os teores de nitrato não foram afetados pelos diferentes arranjos culturais em todas as profundidades avaliadas. No entanto, ao observar os tratamentos individualmente, o consórcio duplo de Piatã + Guandu (PG) destacou-se, apresentando o maior valor na profundidade de 10-20 cm (1,83 mg/kg solo) e o menor na profundidade de 0-10 cm (1,10 mg/kg solo) (Tabela 7). Essa variação sugere uma capacidade do consórcio em acumular nitrato em profundidades intermediárias, possivelmente pelo fato da camada até 20 cm normalmente exibir maior teor de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e biomassa de raízes em comparação com camadas mais profundas (Xiao et al., 2024). Essa dinâmica pode ter implicações importantes para o manejo da fertilidade do solo, destacando a necessidade de considerar a profundidade na avaliação da disponibilidade de nutrientes.

Tabela 7. Teores de nitrato (NO_3^-) do solo cultivado com diferentes arranjos culturais, coleta 13/03/2023.

Arranjo cultural	NO_3^- (mg kg^{-1})		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
A	1,64 (\pm 0,56) a	1,82 (\pm 0,39) a	1,64 (\pm 0,46) a
G	1,71 (\pm 0,34) a	1,61 (\pm 0,44) a	1,55 (\pm 0,42) a
P	1,67 (\pm 0,24) a	1,73 (\pm 0,42) a	1,57 (\pm 0,48) a
S	1,50 (\pm 0,40) a	1,63 (\pm 0,48) a	1,59 (\pm 0,62) a
AG	1,39 (\pm 0,49) a	1,59 (\pm 0,45) a	1,55 (\pm 0,49) a
AS	1,29 (\pm 0,48) a	1,53 (\pm 0,47) a	1,72 (\pm 0,39) a
PS	1,20 (\pm 0,64) a	1,52 (\pm 0,69) a	1,55 (\pm 0,46) a
PG	1,10 (\pm 0,65) b	1,83 (\pm 0,43) a	1,50 (\pm 0,45) ab
SG	1,51 (\pm 0,36) a	1,94 (\pm 0,57) a	1,44 (\pm 0,67) a
ASG	1,37 (\pm 0,29) a	1,64 (\pm 0,61) a	1,67 (\pm 0,44) a
PSG	1,36 (\pm 0,40) a	1,62 (\pm 0,56) a	1,61 (\pm 0,44) a

A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão da média.

4.4 PRODUTIVIDADE DE MASSA SECA ENTRE OS DIFERENTES ARRANJOS CULTURAIS

Na figura 6 são apresentadas as produtividades de massa seca (PMS) para cada arranjo cultural, registradas no corte realizado aos 103 dias após o plantio. De maneira geral, os arranjos culturais podem ser divididos em dois grupos: com e sem a presença de sorgo. Tanto em monocultivo quanto em consórcio, o sorgo promoveu as maiores PMS ($P < 0,05$). Os dados obtidos revelaram que os arranjos triplos Andropogon + Sorgo + Guandu (ASG) e Piatã + Sorgo + Guandu (PSG) destacaram-se com as maiores médias de produtividade 16,5 t/ha e 17,1 t/ha respectivamente. Os arranjos duplos Sorgo + Guandu (SG), Piatã + Sorgo (PS) e Andropogon + Sorgo (AS), bem como o Sorgo solteiro (S), também apresentaram produtividades elevadas, variando entre 14,7 t/ha e 17,1 t/ha, sugerindo que a inclusão do sorgo nos arranjos pode ser uma boa opção de consórcio.

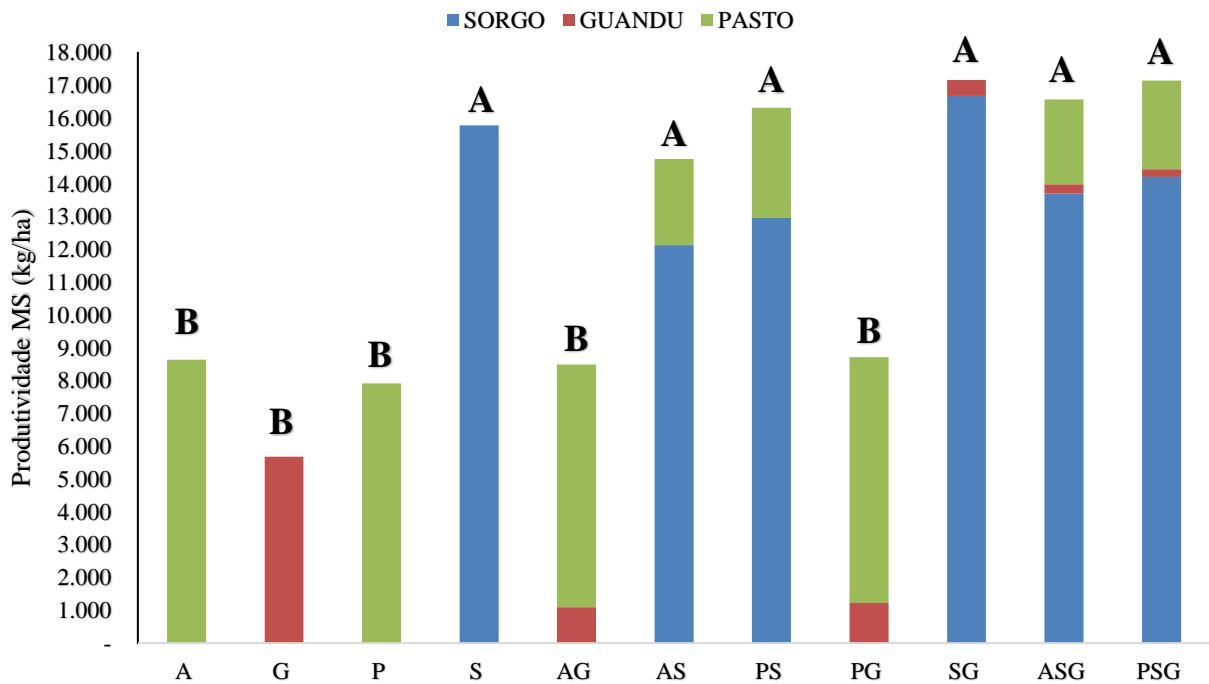


Figura 6. Produção total de massa seca para os diferentes arranjos culturais. A (Andropogon), G (Guandu), P (Piatã), S (Sorgo), AG (Andropogon + Guandu), AS (Andropogon + Sorgo), PS (Piatã + Sorgo), PG (Piatã + Guandu), SG (Sorgo + Guandu), ASG (Andropogon + Sorgo + Guandu) e PSG (Piatã + Sorgo + Guandu). Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Pesquisas sobre o cultivo consorciado de sorgo com gramíneas no Cerrado mostraram efeitos mistos na produtividade do sorgo. Sodré-Filho et al. (2022) relataram que a produtividade de massa seca do sorgo não foi afetada quando consorciado com espécies de *Urochloa*. No entanto, Cruz et al. (2020) relataram uma diminui o na produtividade do sorgo quando consorciado com outra espécie forrageira (*Megathyrsus maximum*), porém sem afetar a produ o total de massa seca nos diferentes arranjos culturais.

5 CONCLUSÕES

1. A forma mineral predominante de N foi a amoniacal, independente da época de amostragem do solo;
2. O teor de amônio do solo reduziu-se à medida em que a profundidade aumentou;
3. A presença de sorgo, em monocultivo ou consorciado, promoveu as maiores produções de massa seca entre os arranjos culturais estudados.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, P.F.; OLIVO, C.J.; SIMONETTI, G.D.; NUNES, J.S.; SILVA, J.O.; SANTOS, M.S.; ANJOS, A.N.A. Produtividade de pastagens de Coastcross-1 em consórcio com diferentes leguminosas de ciclo hibernal. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2265-2272, 2014.
- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 157-165, 2001.
- ALMEIDA, R.G; COSTA, J. A. A. da; KICHELAN; ZIMMER, A. H. **Taxas e métodos de Semeadura para *Brachiaria brizantha* cv BRS Piatã em Safrinha**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, Comunicado Técnico 113. 2009
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift.**, v. 22, p. 711–728, 2013.
- AYARZA, M.; RAO, I.; VILELA, L.; LASCANO, C.; VERA-INFANZÓN, R. **Chapter Three—Soil Carbon Accumulation in Crop-Livestock Systems in Acid Soil Savannas of South America: A Review**. Advances in Agronomy; Sparks, D.L., Ed.; Academic Press: New York, NY, USA, v. 173, p. 163–226, 2022.
- BALBINO, L. C. **Évolution de la structure et des propriétés hydrauliques dans des Ferralsols mis en prairie Pâturée** (Cerrado, Brésil). 2001. 128 f. Thèse (Docteur) – L'Institut National Agronomique Paris Grignon, Paris.
- BAPTISTELLA, J.L.C.; ANDRADE, S.A.L. de; FAVARIN, J.L.; MAZZAFERA, P. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, n. 119, 2020.
- BARCELLOS, A.O.; RAMOS, A.K.B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G.B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p.51-67, 2008
- BOLFE É.L.; VICTORIA D.D.C.; SANO E.E.; BAYMA G.; MASSRUHÁ S.M.F.S.; DE OLIVEIRA A.F. **Potencial de expansão agrícola em pastagens degradadas no Brasil com base em bancos de dados geoespaciais**. Terra. 2024.
- BOLFE, E.L.; SANO, E.E.; CAMPOS, S.K. (Eds.) **Dinâmica Agrícola do Cerrado-Análises e Projeções**. Brasília: Embrapa, Brazil, 2020; 308p.
- BORGES, I. D. et al. Macronutrients absorption and dry matter accumulation in grain sorghum. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 15-26, 2018.
- 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.

- CARVALHO, M. A.; FONSECA, C. E. L.; RAMOS, A. K. B.; BRAGA, G. J.; FERNANDES, F. D.; PESSOA FILHO, M. A. C. P. BRS Sarandi: a new *Andropogon gayanus* cultivar for tropical pastures. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, p. 1-6, 2021.
- CARVALHO, W.T.V.; MINIGHIN, D.C.; GONÇALVES, L.C.; VILLANOVA, D.F. Q.; MAURICIO, R.M.; PEREIRA, R.V.G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2017.
- CHEN, N.; LI, X.; ŠIMŮNEK, J.; SHI, H.; ZHANG, Y.; HU, Q. Quantifying inter-species nitrogen competition in the tomato-corn intercropping system with different spatial arrangements. **Agricultural Systems**, v. 103461, n. 201, 2022.
- CHRISTENSEN, A.A.; ANDERSEN, P.S.; PIIL, K.; ANDERSEN, E.; VEJRE, H.; GRAVERSGAARD, M. Pursuing Implementation Solutions for Targeted Nitrogen Management in Agriculture A Novel Approach to Synthesize Knowledge and Facilitate Sustainable Decision Making Based on Collaborative Landscape Modelling. **Journal of Environmental Management**, v. 246, p. 679-686, 2019.
- CRUZ, N. T.; DIAS, D. L. S.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; DE LANA SOUSA, B. M.; PIRES, A. J. V.; RAMOS, B. L. P.. Alternatives for the recovery and renewal of degraded pastures. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 28, n. 1, p. 15-35, 2022.
- CRUZ, S. S.; ANDREOTTI, M.; PASCOALOTO, I. M.; LIMA, G. C.; SOARES, C. DE A. Production in forage sorghum intercropped with grasses and pigeon pea at crop cutting. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 51, 2020.
- DAHAL, S.; FRANKLIN, D.; SUBEDI, A.; CABRERA, M.; HANCOCK, D.; MAHMUD, K.; NEY, L.; PARK, C.; MISHRA, D. Pastoreio estratégico em pastagens de gado para melhorar a saúde do solo e reduzir o escoamento superficial - Nitrato - Um passo em direção à sustentabilidade. **Sustentabilidade**, v. 12, n. 2, p. 558, 2020.
- d'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2004, 39, 179–186.
- DIAS FILHO, M. B. **Degradação de Pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém: MBDF, 2011.
- DUBEUX, J. C.; SOLLENBERGER, L. E. Nutrient Cycling in Grazed Pastures. In: Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures. **Amsterdam: Elsevier**, 2020, p. 59-75. ISBN 9780128144749.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **BRS 658 Híbrido de sorgo silageiro**: silagem de alta qualidade. Sete Lagoas, 2016. Folder.
- ESPINDULA, M. C.; RODOVALHO, G. M.; MARCOLAN, A. L.; BARBERENA, I. M.; CIPRIANI, H. N.; ARAÚJO, L. F. B. A. Ammonia loss from protected urea in soil under different irrigation depths. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 43, p. e46764, 2021.
- FAO. **Data Dissemination**—Food Security and Nutrition | FAO Statistics. Disponível em: <https://www.fao.org/statistics/datadissemination/food-security-and-nutrition/en>. Acesso em: 18 set. 2024.

- FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: Improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, p. 201854, 2021.
- GAZOLA, B.; MARIANO, E.; ANDRADE, M. G. O.; COSTA, V. E.; ROSOLEM, C. A. Fate of Fertilizer N Applied to Maize Intercropped with Forage Grass and Recovery of Residual N by Soybean in a Double Cropping System. **Plant Soil**, v. 496, p. 205–219, 2024.
- GIOIA, M. T. et al. Consorciação de forragens em um latossolo sob plantio direto em Mato Grosso do Sul. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 14, n. 1, p. 41-50, 2013.
- GODOY, R.; SANTOS, P. M. **Guandu**. Embrapa, 2010.
- GORFU, T. B.; DANIEL, H.; ADIMASSU, Z.; WILSON, B. Potencial de armazenamento de carbono no solo de gramíneas tropicais: uma revisão. **IntechOpen**, 2021.
- GOU, X. et al. Leguminous plants significantly increase soil nitrogen cycling across global climates and ecosystem types. **Global change biology**, v. 29, n. 14, p. 4028-4043, 2023.
- GROF, B.; THOMAS, D. **Agronomic evaluation of grasses in the tropical Savannas of South America**. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 31 p., 1984.
- HAMBRIDGE, J. **QuikChem method 12-107-04-1-J**: determination of nitrate in 2M KCl soil extracts by flow injection analysis. Loveland: Lachat Instruments, 2007a.
- HAMBRIDGE, J. **QuikChem method 12-107-06-2-F**: determination of ammonia (salicylate) in 2 M KCl soil extracts by flow injection analysis (high throughput). Loveland: Lachat Instruments, 2007b.
- HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L. de; PRUSKI, F. F.; DE MARIA, I. C.; CASTRO FILHO, C. de; LANDERS, J. N. A erosão e o seu impacto. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60.
- HOULTON, B. Z.; ALMARAZ, M.; ANEJA, V.; AUSTIN, A. T.; BAI, E.; CASSMAN, K. G.; COMPTON, J. E.; DAVIDSON, E. A.; ERISMAN, J. W.; GALLOWAY, J. N. et al. A World of Cobenefits: Solving the Global Nitrogen Challenge. **Earth's Future**, v. 7, p. 865–872, 2019.
- IBGE. **Cidades** – Campo Grande. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2024.
- JANK, L.; BARRIOS, S. C.; VALLE, C. B.; SIMEÃO, R. M.; ALVES, G. F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, v. 65, p. 1132-1137, 2014.
- JUNIOR, M. A. L.; FRACETTO, F. J. C.; DA SILVA FERREIRA, J.; SILVA, M. B.; FRACETTO, G. G. M. Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. **Catena**, v. 189, p. 104508, 2020.
- LAPIG - LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO. **Atlas Digital das Pastagens Brasileiras**. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>.

- LUCADAMO, Eleanor E. et al. Post-termination effects of cover crop monocultures and mixtures on soil inorganic nitrogen and microbial communities on two organic farms in Illinois. **Frontiers in Soil Science**, v. 2, p. 824087, 2022.
- MACEDO, M. C. M.. Pastagem no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, I, 1995, Brasília. **Anais**. Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p. 28-62.
- MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2000. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 62).
- MARCOS-PÉREZ, M.; SÁNCHEZ-NAVARRO, V.; ZORNOZA, R. Intercropping Systems between Broccoli and Fava Bean Can Enhance Overall Crop Production and Improve Soil Fertility. **Scientia Horticulturae**, v. 312, p. 111834, 2023.
- MASSAWE, I. et al. Effects of intercropping systems and Rhizobium inoculation on yields of maize (*Zea mays*) and two legumes (*Phaseolus vulgaris* and *Dolichos lablab*). **International Journal of Biosciences**, v. 10, p. 188–200, 2016.
- MNG'ONG'O, M. E. et al. The role of Rhizobia toward food production, food, and soil security through microbial agro-input utilization in developing countries. **Case Studies in Environmental Chemical Engineering**, v. 8, p. 100404, 2023.
- MORAES, J.M.; DENARDIN, L.G.D.O.; PIRES, G.C.; GONÇALVES, E.C.; SILVA, L.S.; PACHECO, L.P.; WRUCK, F.J.; CARNEIRO, M.A.; CARVALHO, P.C.D.F.; SOUZA, E.D. Grass-legume intercropping in integrated crop-livestock systems: A strategy to improve soil quality and soybean yield in the Brazilian Cerrado. **Research Square**. 2021, preprint.
- MOURA, L. N. A.; LACERDA, M. P. C.; RAMOS, M. L. G. Qualidade de Organossolo sob diferentes usos antrópicos em áreas de preservação permanente no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 33-39, 2013.
- MUNIZ, M. P. et al. Soybean yield in integrated crop-livestock system in comparison to soybean-maize succession system. **Journal of Agricultural Science**, 2020.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853–858, 2000.
- NASCIMENTO, D. B. et al. Ciclagem de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em Ecossistemas de Pastagem. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, p. e-76743, 2024.
- NWEKE, I. A. Potentials of Intercropping Systems to Soil-Water-Plant Atmosphere. **Agricultural Science**, v. 2, n. 1, p. 31–38, 2020.
- ODONE, A. et al. Deep roots: implications for nitrogen uptake and drought tolerance among winter wheat cultivars. **Plant Soil**, v. 500, p. 13–32, 2024.
- OJEDA, A. A.; DE FARIA, R. B.; SAKAI, C.; MARTINEZ, K. A potencial uso de leguminosas forrageiras em áreas de pastagens degradadas. **Revista Magsul de Agronomia**, Ponta Pará-MS, 2022.
- OLIVEIRA, F. S. de.; DESTEFANI, J. D.; TAVARES, L. R.; PÁSCHOA, J. C. V. da; CRESPO, A. M.; ARAUJO, O. P.; PEIXOTO, P. M. C.; SIQUEIRA, C. B.; CORTAT, L. H.;

- SOUZA, M. N. Microrganismos simbiotes: fixação biológica de nitrogênio e recuperação de pastagens degradadas. In: SOUZA, M. N. (Org.). Tópicos em recuperação de áreas degradadas. v. II. Canoas: **Mérida Publishers Ltda.**, 2021. p. 243-275.
- PACIULLO, D. S. C.; AROEIRA, L. J. M.; ALVIM, M. J.; CARVALHO, M. M. Características produtivas e qualitativas de pastagem de braquiária em monocultivo e consorciada com estilosantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 421-426, 2003.
- PEERZADA, A.M.; ALI, H.; HANIF, Z.; Eco-biology, impact, and management of *Sorghum halepense* (L.). **Biological Invasions**, v.16, p.1-9, 2017.
- PEREIRA, L. E. T.; HERLING, V. R.; ALMEIDA, O. J. I. **Gramíneas forrageiras de clima temperado e tropical**. Grupo de estudos em forragicultura e pastagens: FZEA-USP, 2016. Pirassununga, 93 p.
- REIS, T.; RUSSO, G.; RIBEIRO, V.; MOUTINHO, P.; STABILE, M.; ALENCAR, A.; SILVA, D. **Oportunidades e desafios climáticos no Cerrado brasileiro**. 2017.
- ROBERTSON, G. P.; VITOUSEK, P. M. Nitrogen in Agriculture: Balancing the Cost of an Essential Resource. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 34, p. 97–125, 2009.
- ROSOLEM, C. A.; RITZ, K.; CANTARELLA, H.; GALDOS, M. V.; HAWKESFORD, M. J.; WHALLEY, W. R.; MOONEY, S. J. Enhanced Plant Rooting and Crop System Management for Improved N Use Efficiency. In: **Advances in Agronomy**, SPARKS, D. L. (Ed.). New York: Academic Press, v 146, p. 205–239, 2017.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.
- SANTOS, M. A.; CARNEIRO, D. O.; DANTAS, J. A. S.; MATIAS, M. I. D. A. S. **Manejo e Conservação do Solo e Água com Prática Vegetativa**. 2021.
- SCOPEL, E. et al. Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les Cerrados brésiliens. **Cahiers Agricultures**, Montrouge, v. 14, n. 1, p. 71-75, 2005.
- SILVA, A. N.; FIGUEIREDO, C. C. de; CARVALHO, A. M. de; SOARES, D. S.; SANTOS, D. C. R.; SILVA, V. G. da. Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.1623-1629, 2016.
- SILVA, F. A. M. et al. **Análise temporal de variáveis climáticas monitoradas entre 1974 e 2013 na estação principal da Embrapa Cerrados**. Planaltina: DF, Embrapa Cerrados, 2017. 121 p.
- SILVA, V. G. DA. **Fluxos de óxido nitroso, N mineral e frações de carbono no solo cultivado com milho em sucessão a plantas de cobertura**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 123 p. Tese de Doutorado.
- SILVA, L. D. C. M. D. et al. Ecological Intensification of Cropping Systems Enhances Soil Functions, Mitigates Soil Erosion, and Promotes Crop Resilience to Dry Spells in the

Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 9, p. 591–604, 2021.

SILVA, L. S. et al. Does grass-legume intercropping change soil quality and grain yield in integrated crop-livestock systems? **Applied Soil Ecology**, v. 170, 104257, 2022.

SIMON, M. F. et al. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, 2009.

SODRÉ FILHO, J.; MARCHÃO, R. L.; CARMONA, R.; CARVALHO, A. M. Intercropping sorghum and grasses during off-season in Brazilian Cerrado. **Scientia Agricola**, v. 79, e20200284, 2022.

SOUMARE, A. et al. Exploiting biological nitrogen fixation: a route towards a sustainable agriculture. **Plants**, v. 9, e1011, 2020.

SOUZA, M. S. et al. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. **Pubvet**, v. 12, p. 1-9, 2018.

SOUZA, R. V. R. et al. Degradation process, phytosociology and restoration of grasses used for grazing ruminants in Brazil. **JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 31, n. 1, 2021.

STEIN, L. Y.; KLOTZ, M. G. The Nitrogen Cycle. **Current Biology**, v. 26, p. R94–R98, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Plant physiology. **Sinauer Associates**, 2002.

TANG, X. et al. Cassava/peanut intercropping improves soil quality via rhizospheric microbes increased available nitrogen contents. **BMC Biotechnology**, v. 20, p. 13, 2020.

TERRA, A. B. C. et al. Leguminosas forrageiras na recuperação de pastagens no Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 11-20, 2019.

VIEIRA, D. L.; SANO, E. E.; SILVA, T. R. A classification of cultivated pastures in the Brazilian Cerrado for sustainable intensification and savanna restoration. **Ambio**, v. 51, p. 1219-1226, 2021.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa Distrito Federal, 2017.

VILLEGAS, D. M. et al. *Urochloa* Grasses Swap Nitrogen Source When Grown in Association with Legumes in Tropical Pastures. **Diversity**, v. 12, p. 419, 2020.

VITOUSEK, P. M.; MENGE, D. N. L.; REED, S. C.; CLEVELAND, C. C. Biological nitrogen fixation: rates, patterns and ecological controls in terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1621, p. 20130119, 2013.

WHIETHÖLTER, S. Nitrogênio no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, p. 38-42, 2000.

- WUADEN, C. R. et al. Carbon and nitrogen stocks in a Rhodic Nitisol under different tillage methods and mineral and organic fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, e023004, 2023.
- WUTKE, E. B. et al. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso. In: **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2023. v. 1, p. 55-173.
- XAVIER, D. F. et al. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1214–1219, 2011.
- XAVIER, F. A.; DA, S.; MAIA, S. M. F.; RIBEIRO, K. A.; DE S´ A MENDONÇA, E.; SENNA DE OLIVEIRA, T. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 165, p. 173–183, 2013.
- XIAO, D. et al. Strengthen interactions among fungal and protistan taxa by increasing root biomass and soil nutrient in the topsoil than in the soil-rock mixing layer. **Journal of Environmental Management**, v. 355, p. 120468, 2024.
- XU, R. et al. Grass-legume mixture and nitrogen application improve yield, quality, and water and nitrogen utilization efficiency of grazed pastures in the loess plateau. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1088849, 2023.
- ZHANG, M. et al. Intercropping with BNI-sorghum benefits neighbouring maize productivity and mitigates soil nitrification and N₂O emission. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 352, 108510, 2023.
- ZHANG, M. et al. The Stronger Impact of Inorganic Nitrogen Fertilization on Soil Bacterial Community than Organic Fertilization in Short-Term Condition. **Geoderma**, v. 382, 114752, 2021.