

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO

ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS TROPICAIS: EFEITO SOBRE A
PRODUÇÃO DE FORRAGEM, DESEMPENHO ANIMAL E EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA

Hitalo Rodrigues da Silva

Campo Grande, MS
2025

SILVA H. R.	ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS TROPICAIS: EFEITO SOBRE A PRODUÇÃO DE FORRAGEM, DESEMPENHO ANIMAL E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA	2025
-------------	--	------

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO

ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS TROPICAIS: EFEITO SOBRE A
PRODUÇÃO DE FORRAGEM, DESEMPENHO ANIMAL E EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA

Nitrogen fertilization in tropical pastures: Effect on forage production, animal performance
and greenhouse gas emissions

Hitalo Rodrigues da Silva

Orientador: Prof. Dr. Gelson dos Santos Difante

Coorientadora: Prof. Dr^a. Vanessa Zironi Longhini

Coorientadora: Dr^a Francisca Fernanda da Silva Roberto

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do
título de Mestre em Ciência Animal. Área de
Concentração: Produção Animal.

Campo Grande, MS
2025



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

HITALO RODRIGUES DA SILVA

**ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTAGENS TROPICAIS: EFEITO SOBRE A
PRODUÇÃO DE FORRAGEM, DESEMPENHO ANIMAL E EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA**

**NITROGEN FERTILIZATION IN TROPICAL PASTURES: EFFECT ON FORAGE
PRODUCTION, ANIMAL PERFORMANCE AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 20-02-2025

BANCA EXAMINADORA:

Dr. Gelson dos Santos Difante
(UFMS) – Presidente

Dra. Carolina Marques Costa Araujo
(UFGD)

Dra. Denise Baptaglin Montagner
(EMBRAPA)

Dra. Marislayne de Gusmão
Pereira (UFMS)

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gelson dos Santos Difante, Coordenador(a) de Curso de Pós- graduação**, em 21/02/2025, às 07:17, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **DENISE BAPTAGLIN MONTAGNER, Usuário Externo**, em 21/02/2025, às 13:16, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Marislayne de Gusmão Pereira, Usuário Externo**, em 21/02/2025, às 17:05, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Carolina Marques Costa, Usuário Externo**, em 26/02/2025, às 07:51, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5448405** e o código CRC **4700E2B8**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade

Universitária Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

Referência: Processo nº 23104.001236/2021-33

SEI nº 5448405

Dedico este trabalho aos meus pais,
Ricardo Ferreira da Silva e Carla Elissandra
Severo Rodrigues, em retribuição aos esforços,
incentivo e apoio. Dedico.

*"The result of what we do awaits us
further down the road".*

Allan Kardec

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tornar tudo possível, pela vida, proteção, saúde e por sempre estar ao meu lado.

Aos meus pais, Ricardo Ferreira da Silva e Carla Elissandra Severo Rodrigues, pela vida, respeito, apoio, orações e sobretudo pela transmissão de valores.

Aos meus avós, Carlos da Silva (*in memorian*) e Maria Elena Rodrigues, pelo exemplo, orações, proteção e torcida.

A minha irmã, Jéssica Rodrigues Benck Guterres e sobrinhas Maria Eduarda Rodrigues Guterres e Cecília Rodrigues Guterres, pelo apoio, torcida, admiração e respeito.

Ao meu orientador, Professor Dr. Gelson dos Santos Difante, pelo incentivo, apoio, confiança, constante disposição em auxiliar e por todos os ensinamentos transmitidos.

À minha coorientadora, Professora Dr^a Vanessa Zironi Longhini, pelas contribuições neste trabalho e pelos ensinamentos transmitidos.

À minha coorientadora, Dr^a Francisca Fernanda da Silva Roberto, pelo auxílio na execução dessa pesquisa, apoio, paciência e amizade.

Ao professor Dr. Marcos Ferreira Júnior pelas inúmeras contribuições com este trabalho, constante disposição e auxílio.

À Dr^a Carolina Marques Costa Araújo pela constante disposição e pelo auxílio em muitas etapas fundamentais desse trabalho. Agradeço também pela contribuição com a minha formação em diversos momentos dessa caminhada.

À Dr^a Jéssica Gomes Rodrigues pelas inúmeras correções e sugestões para a melhoria desse trabalho, pela amizade e pela transmissão de conhecimentos em conversas, disciplinas e treinamentos.

A todos os meus familiares que contribuíram na minha jornada até o momento.

Aos amigos da eterna República SUDENE, Juliana Caroline dos Santos Santana, Angelo Hebert Arcanjo, Manoel Gustavo da Silva Paranhos, Jéssica Gomes Rodrigues e Marislayne de Gusmão Pereira os quais agradeço pela acolhida, amizade construída e incontáveis contribuições com a minha formação.

Ao Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR), aos alunos de graduação e pós-graduação, em especial a Gabriela de Oliveira Aquino Monteiro e Néstor Eduardo Villamizar Frontado pelo convívio, disposição e contribuições científicas.

Aos amigos, Davi de Oliveira Moraes e Vinícius Silva Trindade pelos momentos de descontração e trabalho.

Aos professores, Dr. Elson Martins Coelho e Dr. Ricardo Zambarda Vaz, pelo incentivo em ingressar na pós-graduação, oportunidades, contribuição com a minha formação e sobretudo pela amizade.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal (PPGCA) por terem me dado condições de progresso pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de auxílio financeiro durante todo o período de formação.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram com apoio, incentivo, ligações e escutas.

SILVA, H. R. Adubação nitrogenada em pastagens tropicais: efeito sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa. 2025 Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

RESUMO

Objetivou-se verificar o efeito da adubação nitrogenada em pastagens tropicais sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa. No primeiro capítulo por meio de uma revisão narrativa da bibliografia são verificados os principais efeitos do nitrogênio (N), sobre sua dinâmica no solo, planta e animal, e a relação das doses de N com a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) em pastos tropicais. O segundo capítulo objetivou avaliar por meio de uma revisão sistemática da literatura os efeitos da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais. Foi elaborado um protocolo de revisão, onde os descritores para busca foram previamente testados e baseados na estratégia mnemônica PICOS para elaboração da questão norteadora onde a população (P) foi de gramíneas forrageiras tropicais, a intervenção (I) foi a adubação nitrogenada, a comparação (C) foi o uso de diferentes doses de nitrogênio, e o desfecho, do inglês *outcome* (O) foi a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa. O tipo de estudo, do inglês *style* (S), foi admitido apenas estudos experimentais. Dessa forma, foi elaborada a seguinte questão norteadora: “Quais os efeitos da adubação nitrogenada (tipos de N e doses) sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais?”. Para busca eletrônica de alta sensibilidade foram utilizadas as bases de dados SCOPUS (Elsevier), Web of Science (Coleção principal), Springer Link, SciELO, Science Direct (Elsevier) e a biblioteca eletrônica Cab Direct até dia 23 de novembro de 2023. A pesquisa identificou 84,629 documentos, desses 66,976 eram artigos científicos. Do total, 54 artigos foram identificados como fontes potenciais de dados de interesse. No entanto, apenas 34 foram incluídos para a extração dos resultados. Dentre as condições experimentais dos estudos 69,7% foram realizados sob pastejo e 30,3% em parcelas. Nos estudos sob pastejo, 58,3% utilizaram o método de pastejo de lotação contínua e 37,5% lotação intermitente. Entre os gêneros e espécies de forrageiras tropicais estudadas, 52,9% foram realizados com *Brachiaria Brizantha* e 26,5% *Panicum maximum*. As fontes de nitrogênio (N) mais testadas foram: Ureia (53,2%) e Nitrato de amônio (25,5%). As doses

testadas variaram de 0 até 1,000 kg/ha de N. O N promove aumentos consistentes sobre a produção de forragem e desempenho animal. A aplicação de doses alinhadas com a capacidade de assimilação das plantas, a escolha do momento de aplicação e da fonte de N, associado ao fracionamento dose anual de N, são estratégias imprescindíveis para a redução das perdas de N, aumento na eficiência de utilização e redução potencial no impacto ambiental.

Palavras-chave: Eficiência de utilização, Fertilização, Forrageiras de estação quente, Impacto ambiental, Pecuária, Revisão sistemática.

SILVA, H. R Nitrogen fertilization in tropical pastures: effect on forage production, animal performance and greenhouse gas emissions emissions. 2025 Dissertation (Masters) - Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2025.

ABSTRACT

The objective was to verify the effect of nitrogen fertilization in tropical pastures on forage production, animal performance and greenhouse gas emissions. The first chapter, through a narrative review of the literature, examines the main effects of nitrogen (N), its dynamics in the soil, plant and animal, and the relationship between N doses and greenhouse gas (GHG) emissions. The aim of the second chapter was to evaluate the effects of nitrogen fertilization on forage production, animal performance and greenhouse gas emissions in tropical pastures through a systematic literature review. A review protocol was drawn up, in which the search descriptors were previously tested and based on the PICOS mnemonic strategy to elaborate the guiding question where the population (P) was tropical forage grasses, the intervention (I) was nitrogen fertilization, the comparison (C) was the use of different doses of nitrogen, and the outcome (O) was forage production, animal performance and greenhouse gas emissions. The type of study, style (S), allowed only experimental studies. Thus, the following guiding question was developed: “What are the effects of nitrogen fertilization (types of N and doses) on forage production, animal performance and greenhouse gas emissions in tropical pastures?”. SCOPUS (Elsevier), Web of Science (Main Collection), Springer Link, SciELO, Science Direct (Elsevier) and the Cab Direct electronic library were used for the highly sensitive electronic search until November 23, 2023. The search identified 84,629 documents, of which 66,976 were scientific articles. Of the total, 54 articles were identified as potential sources of data of interest. However, only 34 were included for the extraction of results. Among the experimental conditions of the studies, 69.7% were carried out under grazing and 30.3% on plots. In the studies under grazing, 58.3% used the continuous stocking method and 37.5% intermittent stocking. Of the tropical forage genera and species studied, 52.9% were *Brachiaria Brizantha* and 26.5% *Panicum maximum*. The most commonly tested nitrogen (N) sources were urea (53.2%) and ammonium nitrate (25.5%). The doses tested ranged from 0 to 1,000 kg/ha of N. N promotes consistent increases in forage production and animal performance. Applying doses in line with the plants' assimilation capacity, choosing the time of application and the source of

N, together with fractioning the annual dose of N, are essential strategies for reducing N losses, increasing utilization efficiency and potentially reducing environmental impact.

Keywords: Environmental impact, Fertilization, Livestock, Systematic review, Utilization efficiency, Warm-season forage

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo I

Figura 1. Ciclo do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera. Adaptado de Cantarella por Pinheiro (2018).....	17
Figura 2. Escala de prioridades de uso de nutrientes em pastagens.	19
Figura 3. Taxa de acúmulo de forragem (TAF, kg/ha.dia de MS) e taxa de lotação (TL, UA/ha) em pastos de capim-marandu sob duas doses de N (50 e 200 kg/ha de N) durante as quatro estações do ano.....	23

Capítulo II

Figura 1. Fluxograma com processo de seleção da amostra final da Revisão Sistemática.....	53
Figura 2. Localização dos estudos que compuseram a RS.....	54

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1. Efeito da adubação nitrogenada sobre diferentes características morfológicas e estruturais de gramíneas tropicais.....	21
Tabela 2. Retorno aparente de nitrogênio em diferentes forrageiras tropicais e doses e fontes de adubo nitrogenado.	24
Tabela 3. Valor nutritivo de diferentes forrageira sob efeito da adubação nitrogenada.....	25
Tabela 4. Taxa de lotação e desempenho animal em pastos tropicais sob efeito de adubação nitrogenada.	27
Tabela 5. Emissões de metano entérico (CH ₄) em função de diferentes doses de nitrogênio em pastagens tropicais.	30

Capítulo II

Tabela 1. Descritores e cruzamento único realizado na busca de alta sensibilidade para a revisão sistemática.	49
Tabela 2. Características dos estudos incluídos na revisão sistemática.....	55
Tabela 3: Caracterização da população de animais dos estudos incluídos na RS.....	58
Tabela 4. Variáveis de produção de forragem, composição química e medidas de desempenho animal de 16 estudos com forrageiras tropicais adubadas com N.	61
Tabela 5. Volatilização de NH ₃ em pastagens tropicais adubadas com N.....	65
Tabela 6. Volatilização de NH ₃ (% de N emitido por NH ₃) pelas excretas de bovinos em pastagens tropicais adubadas com N.....	66
Tabela 7. Emissões de N ₂ O em pastagens tropicais adubadas com N.....	67
Tabela 8. Emissões de CO ₂ e CH ₄ em pastagens tropicais adubadas com N.....	68
Tabela 9. Emissões de CH ₄ entérico de bovinos mantidos em pastagens tropicais adubadas com N.....	69
Tabela 10. Teores de N no perfil do solo em pastagens tropicais adubadas com N.....	70

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
REVISÃO DE LITERATURA.....	16
Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta	16
Efeito da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem em pastagens tropicais.....	20
Efeito da adubação nitrogenada sobre o desempenho animal	25
Efeito da adubação nitrogenada sobre as emissões de gases de efeito estufa	28
CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
CAPÍTULO II - EFEITOS DA ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A PRODUÇÃO DE FORRAGEM, DESEMPENHO ANIMAL E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM PASTAGENS TROPICAIS – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.....	44
INTRODUÇÃO	45
Métodos.....	47
Protocolo de revisão e questão norteadora	47
Critérios de elegibilidade	48
Fontes de informação	48
Estratégias de busca	49
Processos de coleta de dados.....	51
Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés	51
RESULTADOS	52
Estudos selecionados.....	52
Características dos estudos.....	53
Efeito da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem, composição química da forragem e desempenho animal	59
Efeito do nitrogênio sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE)	64
Volatilização de NH ₃	64
Emissões de N ₂ O.....	66
Emissões de CO ₂ e CH ₄	68
Emissões de CH ₄ entérico.....	69
Teores de N e C.....	69
Intensidade de emissão.....	70
DISCUSSÃO	71
LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	76

CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
APENDICE A	89
PROTOCOLO - REVISÃO SISTEMÁTICA	89

INTRODUÇÃO GERAL

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), estimou que a temperatura média da atmosfera, dos oceanos e da terra aumentou aproximadamente 1,1 °C entre os anos 1850 e 2020 (Masson-Delmotte et al., 2020). O aumento da temperatura média do planeta influencia a velocidade de degelo das calotas polares, no aumento do nível dos mares, extinção de espécies de plantas e animais e na alteração das condições climáticas (IPCC, 2007).

Como estratégia global para redução da temperatura, formulou-se o Acordo Climático de Paris, o qual estabeleceu um quadro mundial para limitar o aquecimento global abaixo dos 2 °C e garantir a manutenção do aumento da temperatura em no máximo 1,5 °C, até 2050 (UNFCCC, 2015; Del-Prado, Lindsay & Tricarico, 2023). Como estratégia para evitar ultrapassar esses limites de temperatura, o artigo 4º do Acordo de Paris estabelece alcançar um equilíbrio entre as emissões e mitigações dos gases de efeito estufa (GEE) de origem antrópica (Del-Prado, Lindsay & Tricarico, 2023).

Do total de emissões de GEE em nível global, 14,5% são ocasionadas pela pecuária (Gerber, Henderson & Makkar, 2013; Vaghar Seyedin et al., 2022), desse montante, 27% das emissões da atividade são por dióxido de carbono (CO₂), 44% metano (CH₄) e 29% óxido nitroso (N₂O) (Sakadevan & Nguyer, 2017).

A produção mundial de proteína animal requer milhões de hectares de terra e numerosos recursos (Thornton & Herrero, 2010; Thornton, 2010). Dessa forma, estratégias de melhoria da produção animal, que poupem os recursos (físicos, químicos, biológicos, econômicos e humanos) e diminuam os impactos ambientais, estão entre os principais desafios da comunidade da ciência animal em escala global (Reis et al., 2009; Delevatti et al., 2019; De Vries et al., 2023).

O uso de fertilizantes aumentou rapidamente dentro dos sistemas de produção, nas últimas décadas (Lassaletta et al., 2014), devido a sua importância no aumento da produção vegetal e consequentemente animal. No entanto, devido ao uso indiscriminado dos fertilizantes, mais da metade das adubações em terras agrícolas e pecuárias em nível global são perdidas para o ambiente, via volatilização e lixiviação (Baojing et al., 2023; He Zhilong et al., 2023). Tal fato faz com que esse nutriente esteja no centro de várias metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), relacionados com a segurança alimentar e um ambiente limpo (Kanter, Zhang & Howard, 2016; Dobermann & Looking, 2016).

No Brasil, cerca de 90% dos bovinos de corte são criados e terminados em pastos. Nas regiões tropicais do país, esta produção caracteriza-se pela utilização de gramíneas de origem africanas, principalmente, do gênero *Brachiaria*. as quais, geralmente, recebem pouco ou nenhuma aplicação de fertilizantes nitrogenados ao longo do ano (Berndt & Tomkins, 2013; Cardoso et al., 2016). Em função dessa condição, não existem estatísticas precisas e atualizadas sobre a quantidade de N utilizada em áreas de pastagens tropicais do país. Entretanto, sabe-se que a ureia é a fonte de N mais utilizada devido ao seu menor custo por quilograma em comparação com outros fertilizantes nitrogenados (Longhini et al., 2023).

É consenso entre os pesquisadores que a adubação nitrogenada em pastagens tropicais é uma das principais e mais rápidas ferramentas para a intensificação dos sistemas de produção animal em pastos (Delevatti et al., 2019), que pode gerar, em função dos consistentes incrementos na produção de forragem, melhoria no valor nutritivo (Siniscalchi et al., 2023), aumentos nas taxas de lotação (Euclides et al., 2022), ganho de peso dos animais (Lima et al., 2023) e aceleração da ciclagem de nutrientes (Homem et al., 2021). Fatores que associados as estratégias de utilização de insumos, suplementação (Congio et al., 2021) e melhoria no manejo das pastagens (Ruggieri et al., 2020), contribuem para a redução das áreas degradadas e das emissões de GEE (Sone et al., 2020).

Diante do exposto, objetivou-se com esta revisão verificar a influência da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem, o desempenho animal e as emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais.

REVISÃO DE LITERATURA

Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta

O N é o principal nutriente para manutenção da produtividade das gramíneas forrageiras (Pereira, Herling & Tech, 2022), sendo essencial na formação das proteínas, cloroplastos e outros compostos que participam na síntese dos compostos orgânicos da estrutura vegetal (Taiz et al., 2017). Ligado a características que influenciam o porte da planta (Castagnara et al., 2011; Pontes et al., 2017), tais como o comprimento das folhas e do colmo (Roma et al., 2012; Freitas et al., 2012; Domiciano et al., 2021) e perfilhamento (Almeida et al., 2023).

Para que o N promova crescimento vegetal, é necessário que esteja disponível na solução do solo, de preferência muito próximo às raízes para facilitar a utilização pela planta (Dalir, 2023). A absorção dos nutrientes pela planta pode ocorrer pelos mecanismos de fluxo

de massa, difusão e/ou por interceptação radicular após o contato entre as raízes e os íons presentes na solução do solo (Marschner & Ranger, 2023).

Em pastagens, a maior parte do N origina-se da ciclagem de nutrientes via decomposição da matéria orgânica do solo (MOS) (Vendramini et al., 2014), que fornece até 85% da necessidade do nutriente para o sistema (Serra et al., 2018). Além de adubações sintéticas (Domiciano et al., 2021) e orgânicas (Alvarez, Rios & Sterling 2023), fezes e urina (Garcia et al., 2021), deposição atmosférica por meio de raios e/ou chuvas (Guretzky et al., 2013) e fixação biológica do N_2 atmosférico (Alecrim et al., 2023) (Figura 1), também podem ser fontes de N.

As perdas de N no solo podem ocorrer pela lixiviação, volatilização de amônia (NH_3), emissão de N_2O e imobilização (Cameron, Di & Mior, 2013). A lixiviação, processo de perda de nutrientes por percolação da água no solo, é particularmente relevante para o N na forma de nitrato (NO_3^-). A mobilidade do nitrato no perfil do solo é influenciada tanto pela sua concentração quanto pelo fluxo de água. A formação do NO_3^- é resultado da mineralização da matéria orgânica e, principalmente, da nitrificação do amônio (NH_4^+), um processo microbiano que converte o NH_4^+ em nitrito (NO_2^-) e, posteriormente, em NO_3^- (Grant et al., 2019).

A volatilização de NH_3 é a principal via de perda de N após a aplicação de fertilizantes nitrogenados, sobretudo em condições de seca (altas temperaturas, baixa umidade e maior ventilação), potencial hidrogeniônico (pH) elevado do solo, textura arenosa e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), desde que a umidade inicial do solo permita a ação da urease (Liu et al. 2020).

A maior parte do N_2O emitido pelos solos é produzida em dois processos biológicos: nitrificação e desnitrificação. Ambos os processos são dependentes da disponibilidade de oxigênio, porém em condições opostas. A nitrificação, um processo aeróbio, é favorecida em solos bem drenados e com adequada disponibilidade de água e temperatura. Por outro lado, a desnitrificação, um processo anaeróbio, ocorre em condições de falta de oxigênio e é influenciada principalmente pela temperatura. (Grzy, Wolna-Maruwka & Niewiadomska, 2021).

A nitrificação é um processo aeróbico de oxidação do NH_4^+ a NO_3^- , realizado por bactérias nitrificantes. Esse processo ocorre em duas etapas: na primeira, a nitritação, o NH_4^+ é oxidado a NO_2^- por bactérias dos gêneros *Nitrosomonas*, *Nitrospira* e *Nitrosococcus*. Em seguida, na nitratação, o NO_2^- é oxidado a NO_3^- por bactérias dos gêneros *Nitrobacter*, *Nitrospira* e *Nitrosococcus* (Bottomley, Taylor & Myrold, 2012).

A desnitrificação é um processo microbiano de redução do NO_3^- a N gasoso (N_2). Realizado por bactérias desnitrificantes, geralmente anaeróbias facultativas, essa transformação é fundamental para o ciclo do N. A proporção de bactérias desnitrificantes na população total do solo pode variar significativamente, dependendo de fatores como tipo de solo, condições ambientais e disponibilidade de substratos. Embora a desnitrificação geralmente resulte na formação de N_2 , uma parte do N pode ser convertida N_2O (Jansson & Persson, 1982; Grzy, Wolna-Maruwka & Niewiadomska, 2021) (Figura 1).

Tanto a nitrificação quanto a desnitrificação são processos microbianos influenciados por diversas características do solo, como aeração, temperatura, umidade, pH, fertilidade e presença de substâncias tóxicas. A umidade do solo desempenha um papel crucial nesses processos, pois ela afeta diretamente o espaço poroso saturado por água (EPSA). De acordo com Ruser et al. (2006), quando o EPSA ultrapassa 70%, a desnitrificação se torna o principal processo de produção de N_2O . Por outro lado, quando o EPSA cai para 60%, a nitrificação passa a ser a principal responsável pela formação de N_2O .

O pH do solo exerce um papel crucial na produção de N_2O ao influenciar a atividade enzimática envolvida nas reações de formação e redução desse gás. Em ambientes ácidos, a enzima responsável por converter N_2O em N_2 é inibida, resultando em um acúmulo de N_2O no solo. Consequentemente, solos com baixo pH tendem a emitir maiores quantidades de N_2O . Essa relação entre pH e emissão de N_2O foi demonstrada por Charpuis-Lardy et al. (2007), que atribuíram esse fenômeno à inibição enzimática em condições ácidas e à presença de oxigênio.

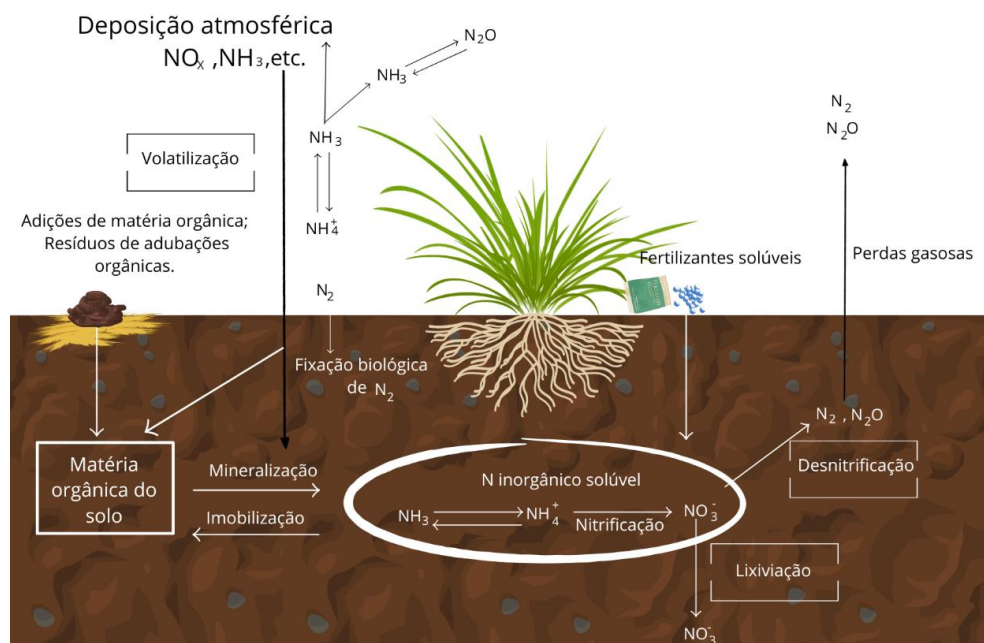


Figura 1: Ciclo do nitrogênio em ambiente pastoril. Adaptado de Pinheiro (2018).

O N pode ser absorvido pelas plantas principalmente nas formas de NH_4^+ e NO_3^- (Wang et al., 2021). A absorção de NO_3^- é maior em pH ácido (<7.0), enquanto, a absorção de amônio é maior em pH próximo ao neutro, decrescendo com o aumento da acidez. A faixa ideal de pH para a maioria das plantas absorverem nutrientes está entre 5.6 e 6.5. Nessas condições a forma de NO_3^- é frequentemente dominante por ser a forma iônica de maior liberdade para movimentação em direção às raízes das plantas (Costa et al., 2008).

Para que o N promova o crescimento das plantas forrageiras, a correção da acidez do solo, tem papel central para a utilização tanto do N, quanto para os demais nutrientes (Barlóg, Grzebisz e Lukowiak, 2022). Em uma escala de prioridades, a correção da acidez do solo, e a elevação dos teores de fósforo (P) e potássio (K), devem preceder a adubação nitrogenada, a fim de potencializar o uso e a conversão do N em produção primária e secundária (Almeida et al., 2023) (Figura 2).

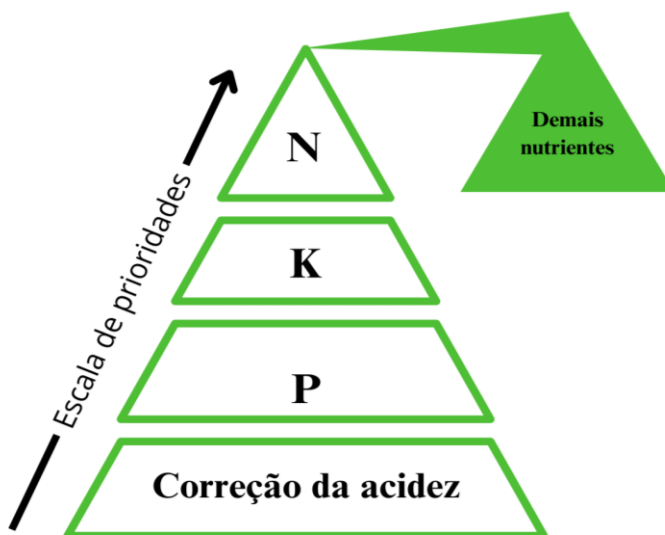


Figura 2. Escala de prioridades de uso de nutrientes em pastagens. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A maior parte do N presente nos solos tropicais está incorporada naturalmente na fração orgânica do solo (Gurgel et al., 2020). Embora existam entradas de N advindas dos processos naturais, como deposição atmosférica, fixação biológica do N atmosférico e ciclagem de nutrientes, estas são insuficientes para atender às necessidades das plantas, sobretudo das forrageiras tropicais melhoradas (Bourscheidt et al., 2019). Tal fato justifica a utilização de N por meio de fertilizantes sintéticos e/ou orgânicos (Pereira, Herling & Tech, 2022).

As fontes sintéticas de N mais utilizadas para a adubação de pastagens tropicais são ureia, nitrato de amônio e sulfato de amônio (Costa et al., 2020). Apesar de cada uma possuir

vantagens e desvantagens, a ureia destaca-se como sendo a fonte mais utilizada em função de possuir o menor custo por kg de N (Longhini et al., 2023). Entretanto, dentre as três fontes de N citadas, a ureia apresenta as maiores perdas desse nutriente por volatilização na forma de amônia, enquanto o sulfato de amônio apresenta as menores, fato que repercute no maior custo por kg de N aplicado (Delevatti et al., 2019).

Efeito da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem em pastagens tropicais

As forrageiras tropicais, em função do metabolismo C_4 , são altamente responsivas a adubação nitrogenada (Da Silva, Sbrissia & Pereira, 2015). O aumento do aporte de N, afeta diretamente a dinâmica de crescimento e desenvolvimento das plantas (Martuscello et al., 2015); aumentando a velocidade dos processos morfogênicos (Vasconcellos et al., 2020), a densidade e a taxa de aparecimento de perfilhos (Cabral et al., 2021), em virtude da maior geração de folhas novas (Yasuoka et al., 2018), conforme demonstrado na Tabela 1.

A taxa de alongamento foliar tem estreita relação com a produção de forragem (Lopes et al., 2013), uma vez que o aumento dessa variável proporciona incremento na produção de folhas. A duração de vida da folha, por sua vez, tem relação direta com os recursos disponíveis para planta. Na ausência de N, ou sob baixas doses do nutriente, as plantas tendem a permanecer mais tempo com as folhas vivas, para manter a capacidade fotossintética do dossel (Martuscello et al., 2006).

O perfilhamento de gramíneas está diretamente ligado ao aumento na taxa de aparecimento foliar provocado pelo N (Irving, 2015). Pastos adubados com N possuem maior participação de perfilhos novos, que se caracterizam por apresentarem maior porcentagem de folhas em relação aos demais componentes morfológicos, em condições adequadas de manejo do pastejo e/ou corte (Alves et al., 2019).

O aumento no fluxo de tecidos repercute diretamente no manejo do pastejo, pois, devido a maior velocidade de formação de novas folhas promovida pela adubação nitrogenada, há uma estabilização mais rápida no número de folhas vivas por perfilho (Yasuoka et al., 2018). Isso faz com que o pasto atinja a meta de manejo mais rapidamente, quando comparado a pastos não adubados, independentemente do método de pastejo adotado, seja em lotação intermitente (Camargo et al., 2021) ou contínua (Ongaratto et al., 2021).

Tabela 1. Efeito da adubação nitrogenada sobre diferentes características morfogênicas e estruturais de gramíneas tropicais.

Referência	Espécie e cultivar	Tipo de solo	Fonte de N	Dose	Variáveis	
				(kg/ha de N)	TApF (folhas.dia ⁻¹) ⁽¹⁾	TAlF (cm por folhas dia ⁻¹) ⁽²⁾
Ongaratto et al., (2021)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Latossolo	Nitrato de amônio	0	0,08	0,10
				75	0,09	0,11
				150	0,11	0,12
Sousa et al., (2021)	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Latossolo Vermelho Distrófico	Ureia	100 200 300	TAlp (cm.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹) ⁽³⁾	TSf (cm.perfilho ⁻¹ .dia ⁻¹) ⁽⁴⁾
					1,90	4,0
					3,33	4,1
					4,08	3,7
Camargo et al., (2022)	<i>Brachiaria</i> Híbrida cv. Ipyporã	Latosso Vermelho Distrófico	Ureia	100 200	Filocrono (dias)	CFF (cm) ⁽⁵⁾
					10,90	8,72
					9,98	9,52
Borges et al., (2017)	<i>Cynodon</i> spp. cv. Tifton 85	Latossolo	Ureia	0 60 120 180 240	DPP (m ²) ⁽⁶⁾	IAF (m ² .m ⁻²) ⁽⁷⁾
					299	0,5
					398	2,1
					503	3,3
					476	4,9
					432	5,1

(1) TApF: Taxa de aparecimento foliar; (2) TAlF: Taxa de alongamento foliar; (3) TAlp: Taxa de alongamento de perfilho; (4) TSf: Taxa de senescência de folhas; (5) CFF: Comprimento final da folha; (6) DPP: Densidade populacional de perfilhos; (7) IAF: Índice de área

As espécies de forrageiras tropicais respondem de forma diferente à adubação nitrogenada, condição que está relacionada a fatores como potencial genético, limites fisiológicos e porte (Domiciano et al., 2021 Almeida et al., 2023). Domiciano et al., (2021) avaliaram a produção de forragem do capim-marandu e do capim-mombaça sob duas doses de N (0 e 50 kg/ha de N) e constataram que o capim-marandu adubado com 50 kg/ha de N apresenta menores variações no acúmulo de forragem. Entretanto, a mesma dose de N parece não ser suficiente para otimizar as respostas produtivas do capim-mombaça.

Devido as diferenças nas respostas das plantas a adubação nitrogenada, a dose desse nutriente irá variar em função do potencial de produção. Para sistemas produtivos mais intensificados, com a utilização de maiores tecnologias (irrigação, adubação nitrogenada, etc), recomenda-se o uso de forrageiras mais produtivas e responsivas ao manejo (Euclides et al., 2014), como as cultivares da espécie *Panicum maximum*. Por outro lado, para sistemas menos intensificados ou com maiores limitações de uso da terra, espécies do gênero *Brachiaria* são as mais indicadas.

As alterações climáticas entre as estações de primavera/verão e outono/inverno promovem variações na produção de forragem, independentemente se houver ou não fertilização (Barbeiro et al., 2021). Nesse contexto, estima-se que aproximadamente 80% do acúmulo de forragem anual ocorre na estação chuvosa, condição esta que altera a capacidade de suporte das pastagens ao longo do ano (Gimenes et al., 2011; Euclides et al., 2014).

Gimenes et al., (2011) verificaram que no método de pastejo de lotação intermitente, a adoção da adubação associado a interrupção do processo de rebrotação, quando a planta atinge 95% de interceptação de luz (IL), resulta no aumento de ciclos de pastejo. Na maior dose de N, houve também a maior taxa de acúmulo de forragem ao longo do período chuvoso (primavera e verão). Essa condição permitiu também a maior taxa de lotação (Figura 3). Entretanto, independentemente da dose de N, a alteração das condições climáticas ao longo das estações subsequentes (outono e inverno) promove redução na produção de forragem e por consequência na capacidade de suporte dos pastos.

O aumento da capacidade de suporte dos pastos adubados no período chuvoso, revelam a necessidade de maior planejamento do sistema ao longo do ano. Pois apesar da maior taxa de lotação nessas estações, esta não permanece a mesma durante o período seco, devido principalmente as variações climáticas que influenciarão a produção de forragem (Barbeiro et al., 2021).

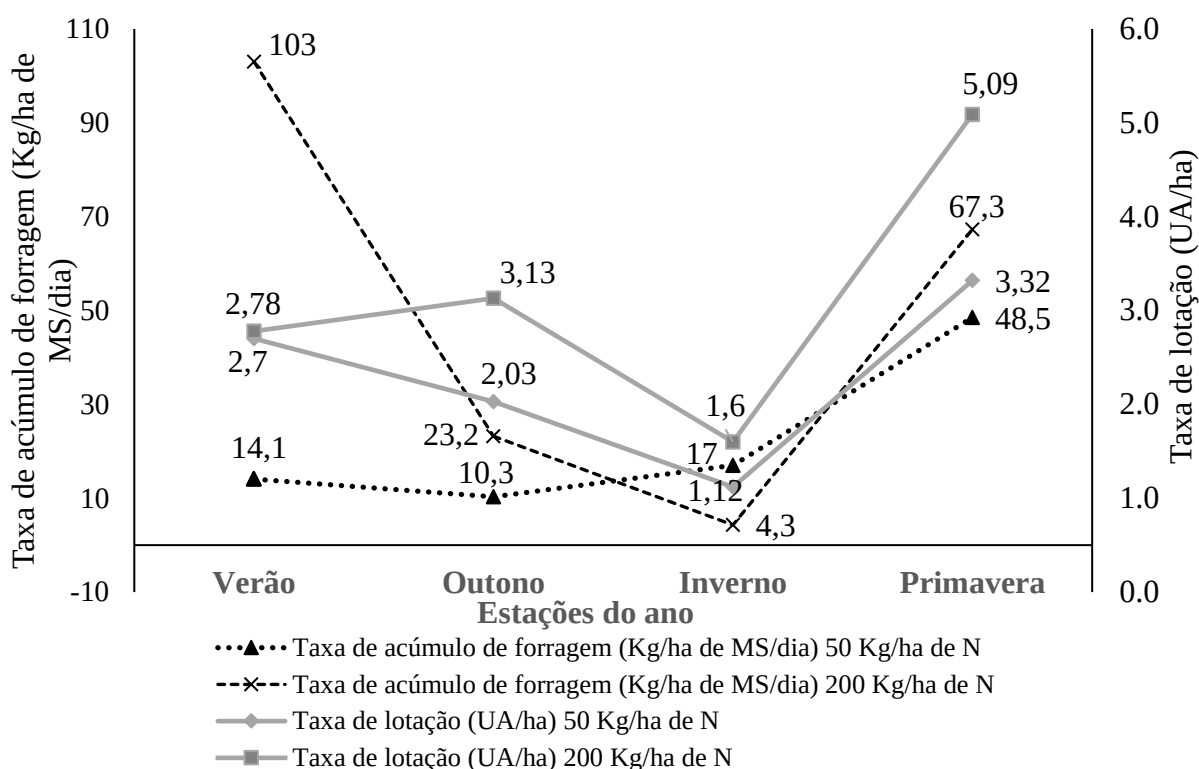


Figura 3. Taxa de acúmulo de forragem (TAF, kg/ha.dia de MS) e taxa de lotação (TL, UA/ha) em pastos de capim-marandu sob duas doses de N (50 e 200 kg/ha de N) durante as quatro estações do ano. Fonte: adaptado de Gimenes et al., (2011).

As respostas a adubação nitrogenada não estão somente relacionadas a planta forrageira, mas a fatores como o momento de aplicação, a fonte e a dose de N aplicada no sistema (Pereira, Herling & Tech, 2022). Várias pesquisas demonstram a importância do parcelamento da adubação nitrogenada, a fim de potencializar as respostas das plantas (Sales et al., 2020; Homem et al., 2021; Euclides et al., 2022). Adubações com doses elevadas podem levar a perdas substanciais de N na forma de NH_3 (Corrêa et al., 2021).

Mesmo em sistemas mais intensificados, onde existe a necessidade do uso de doses maiores de N, a recomendação é fracionar as doses em aplicações menores, entre 50 a 75 kg/ha de N, a fim de evitar perdas de N, e potencializar o uso dos pastos. Sales et al., (2020) avaliando cinco doses de N (0, 25, 50, 75 e 100 kg/ha de N por ciclo) sobre respostas produtivas do capim-marandu, verificaram maior produção e acúmulo de forragem nas doses de 50 e 75 kg/ha de N por ciclo em comparação as doses de 25 e 100 kg/ha de N.

A adubação com doses elevadas de N deve ser analisada quanto a sua eficiência, independente da fonte de N (Quadros et al., 2023). A eficiência de utilização do N indica a dose a

ser aplicada no pasto, assim, reduzem-se as chances de perdas de N, o que resulta em menores custos de produção (Reis et al., 2010; Delevatti et al., 2019). A literatura apresenta algumas metodologias para avaliação da eficiência do uso de N. Entretanto, as mais comuns são o retorno aparente do N, o índice de nutrição nitrogenada e o índice de eficiência do N (Quadros et al., 2023).

O retorno ou recuperação aparente do N é frequentemente utilizado nos trabalhos, expressa geralmente em porcentagem, e diz respeito a quanto do N aplicado é convertido em produção de forragem (Canto et al., 2013). Recuperações de fertilizantes de 50 a 80% são os resultados esperados em pastagens (Sigua et al., 2013). Todavia, quanto maior a dose de N aplicada menores serão os percentuais de N recuperado (Martuscello et al., 2018), conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Retorno aparente de nitrogênio em diferentes forrageiras tropicais e doses e fontes de adubo nitrogenado.

Referência	Espécie e cultivar (nome comum)	Fonte de N	Dose de N kg/ha de N	Retorno aparente de N (%)
Sartor et al. (2011)	<i>Brachiaria plantaginea</i> (capim-papuã)	Ureia	0	0
			200	110,04
			400	40,81
Sigua et al. (2013)	<i>Hemarthria altíssima</i> cv. "Limpograss"	Nitrato de amônio	0	0
			100	74,1
			200	50,7
Quadros et al. (2023)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Nitrato de amônio	0	0
			75	58,3
			150	40,9

Fonte: elaborado pelo autor.

Apesar do aumento na produção de forragem em pastos adubados, a melhoria no valor nutricional da forragem produzida nem sempre ocorre com o incremento das doses de N (Tabela 3). A adubação nitrogenada promove o aumento no teor de nitrogênio na planta, bem como o aumento do número, tamanho, peso, taxa de aparecimento de perfilhos, de folhas e alongamento do colmo, que são fatores que afetam a massa de forragem (Ongaratto et al., 2021). Logo, os efeitos indiretos da fertilização nitrogenada, tais como o filocrono, tempo de vida foliar ou avanços na maturidade parecem influenciar mais a digestibilidade da forragem do que o efeito direto da adubação nitrogenada (Lima et al., 2022).

A adubação nitrogenada, associada as metas de manejo do pastejo, podem promover a

melhoria do valor nutritivo da forragem, sendo uma importante forma de oferta de nutrientes aos animais, impactando diretamente no ganho médio diário dos animais (Jayasinghe et al., 2022; Delevatti et al., 2019). A depender da dose de N aplicada, pode haver incrementos significativos sobre a composição química e digestibilidade das forrageiras tropicais, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Valor nutritivo de diferentes forrageira sob efeito da adubação nitrogenada.

Referência	Espécie e cultivar	Fonte de N	Dose de N (kg/ha de N)	Valor nutritivo		
				PB ¹ (g/kg MS)	FDN ² (g/kg MS)	DIVMS ³ (g/kg MS)
Homem et al., (2024)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Ureia	0	82,2	511	470
			150	125	559	545
Silva et al., (2020)	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Sulfato de amônio	150	128,9	709,8	-
			300	192,5	686,2	-
			450	204,1	675,1	-
Berça et al., (2019)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Ureia	0	83	618	604
			150	112	589	620
Delevatti et al., (2019)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Ureia	0	113,6	606,2	584,1
			90	135,5	585,7	569,2
			180	150,9	564,0	565,9
			270	167,6	559,2	560,8
Cecato et al., (2017)	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	Composto 80% Ureia e 20% Sulfato de Amônio	50	91,8	794,8	689,8
			100	93,1	726,8	674,7
			200	103,6	730,6	686,0
			400	110,1	713,8	685,2

¹PB: proteína bruta; ²FDN: fibra em detergente neutro; ³DIVMS: digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Efeito da adubação nitrogenada sobre a desempenho animal

A adubação nitrogenada potencializa a produção de forragem e pode também melhorar o seu valor nutritivo (Da Silva et al., 2020). Com o aumento nas taxas de crescimento do pasto, há incrementos na capacidade de suporte, resultando em maiores taxas de lotação e maior ganho por unidade de área (Euclides et al., 2022; Homem et al., 2024) (Tabela 4).

Delevatti et al. (2019) avaliaram o efeito de quatro doses de N, 0, 90, 180 e 270 kg/ha de N, sobre a produção, qualidade e performance animal em pastos de *Brachiaria brizantha* cv.

Marandu, manejados sob lotação contínua com 25 cm de altura. Os autores verificaram aumentos lineares na taxa acúmulo diária de forragem (TAF), de ± 30 a 80 kg/ha/dia de MS o que resultou em incremento linear na taxa de lotação.

Homem et al. (2024), avaliaram as respostas de desempenho de plantas e animais e o equilíbrio dos GEE, em pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, manejadas com e sem o uso de N, ou consorciado com *Arachis pintoii* cv. BRS Mandobi. Os autores observaram aumentos nas taxas de lotação de 3,12; 2,23 e 1,90 UA/ha, em função dos sistemas fertilizado, consorciado e sem adição de N, respectivamente. O aumento na taxa de lotação do sistema adubado com N foi de 103% quando comparado ao controle (sem N) e 54% quando comparado ao sistema consorciado.

A intensificação das pastagens promovida pelo uso de N além de aumentar a taxa de lotação animal nessas áreas, no período chuvoso, possibilita a redução do uso de outras áreas de pastagem na propriedade. Tal fato permite o planejamento de áreas de vedação para acúmulo de forragem, visando a utilização em períodos de escassez (Euclides et al., 2014).

Lima et al., (2022), avaliando as repostas de pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sob três doses de N, 0, 75 e 150 kg/ha de N, verificaram que na dose 0 houve a maior demanda por área para a criação animal, de 0,5 ha/animal, enquanto que as doses 75 e 150 kg/ha de N houve uma redução na necessidade de área para 0,2 ha/animal, assim aumento a eficiência produtiva do sistema.

Tabela 4: Taxa de lotação e desempenho animal em pastos tropicais sob efeito de adubação nitrogenada.

Referência	Espécie e cultivar	Fonte de N	Dose de N (kg/ha de N)	Variáveis		
				TL ¹ (UA/ha)	GMD ² kg/dia	GPA ³ (kg/ha/ano ou estação)
Homem et al., (2020) ⁽⁴⁾	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Ureia	0	2,3	0,544	106
			150	3,8	0,636	219
Alecrim et al., (2023) ⁽⁵⁾	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Ureia	0	2,3	0,240	99
			120	2,7	0,347	168
			150	2,6	0,404	189
Silva et al., (2020) ⁽⁶⁾	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Sulfato de amônio	150	5,47	0,420	587,20
			300	6,36	0,510	799,24
			450	7,48	0,485	909,61
Lima et al., (2022) ⁽⁷⁾	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Nitrato de amônio	0	1,78	0,710	111
			75	3,07	0,850	213
			150	3,68	0,930	289
Cecato et al., (2017) ⁽⁸⁾	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	Composto de 80% Ureia e 20% Sulfato de amônio	50	4,0	0,990	653
			100	3,7	1,15	675
			200	5,0	1,03	723
			400	6,6	1,1	813

(1) TL: Taxa de Lotação; (2) GMD: Ganho médio diário; (3) GPA: Ganho de peso por área; (4): UA/ha: a unidade animal foi considerada de um bovino de 500 kg/peso vivo; (6) GPA: o ganho de peso por área foi considerado durante o período de 112 dias; (2), (3), (4) e (5): UA/ha: a unidade animal foi considerada de um bovino de 450 kg/peso vivo.

Os aumentos nas taxas de lotação são decorrentes do maior acúmulo de folhas, as quais são proporcionadas pela adubação nitrogenada (Gongio et al., 2018). Nesse cenário, há o favorecimento do consumo de matéria seca do pasto e, por consequência, aumento no desempenho animal (Cecato et al., 2017). Além disso, a adubação nitrogenada pode acarretar no aumento das concentrações de proteína bruta (PB) e menores de fibra em detergente neutro (FDN), resultando na melhora da digestibilidade dos componentes da forragem, o que permite a melhoria no ganho médio diário GMD dos animais (Homem et al., 2021).

Alguns estudos sugerem que a melhoria do valor nutritivo da forragem tem mais relação

com estrutura do pasto, do que propriamente com o nível de adubação nitrogenada adotado (Cecato et al., 2017; Congio et al., 2018; Delevatti et al., 2019). Congio et al., (2018) analisaram a produção animal em pastos de *Penisetum purpureum*, sob os níveis de IL 95% e 100%, e adubados com 215 kg/ha de N. Os autores relataram que ambos os pastos não se diferenciam quanto ao acúmulo de forragem, mas os pastos manejados sob 95% de IL apresentam maior percentual de folhas, menor percentual de colmos e melhor valor nutritivo em comparação aos pastos manejados sob 100% de IL.

Para a manutenção da estrutura do pasto, o controle da intensidade de pastejo (IP) é outro fator determinante tanto na resposta animal, quanto para a produção de forragem (Da Silva & Sbrissia, 2015). Congio et al., (2018), observaram que ao manejar pastos de capim-elefante sob 95% de IL, adubados com 215 kg/ha de N, em lotação intermitente e com IP de 50%, foi possível produzir até 18,1 kg de leite/vaca/dia, na estação chuvosa do ano. O controle da estrutura do pasto, associado a adubação nitrogenada e o controle da IP, permitem a melhor utilização da forragem produzida (Berça et al., 2021).

Efeito da adubação nitrogenada sobre as emissões de gases de efeito estufa

Na pecuária, as principais fontes de emissões de GEE estão associadas ao metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e dióxido de carbono (CO₂). O CH₄ é proveniente da fermentação entérica e das fezes, enquanto, emissões diretas e indiretas de N₂O são provenientes das excretas dos animais e do uso de fertilizantes nitrogenado e o CO₂ são advindos do desmatamento, queima de biomassa, uso de energia e combustíveis fósseis (IPCC, 2019; Abreu et al 2024).

A adubação nitrogenada representa uma estratégia de intensificação do sistema de produção animal, visando aumento de produção primária e secundária do sistema (Dellantonio et al., 2021; Lima et al., 2022). Embora a adubação nitrogenada afete de forma positiva as características produtivas do pasto não há trabalhos que demonstrem reduções estatisticamente significativas nas emissões de CH₄ entérico em pastos tropicais (Tabela 5).

Alguns autores sugerem que o conteúdo de fibra da forragem pode ser o fator que mais afete a emissão de CH₄ (Wims et al., 2010). Congio et al., (2018) analisaram a produção de leite e as emissões de CH₄ entérico em pastos de *Penisetum purpureum*, sob os níveis de IL 95% e 100%, e adubados com 215 kg/ha de N. Os autores verificaram que apesar da maior massa de forragem disponível no tratamento de 100% de IL, a forragem apresentou maior percentual de colmo, material senescente e menor de folhas em comparação ao tratamento de 95% de IL. Condição que resultou na menor produção de leite e maior emissão de CH₄ em g/kg

de produção de leite.

O fato dos estudos com adubação nitrogenada não verificarem efeito sobre as emissões entéricas de CH_4 , pode estar relacionado pelo consumo semelhante de matéria seca (MS). Apesar da possível melhoria na qualidade da forragem nos tratamentos com N, as metas de manejo são semelhantes (IL, manutenção da altura), fator que pode condicionar a ingestão semelhante de MS, entre os tratamentos. E se a ingestão de MS é semelhante a emissão de CH_4 entre os tratamentos será semelhante (Van Lingen et al., 2019).

Apesar das emissões de CH_4 entérico serem semelhantes entre os tratamentos controle e adubado, o número de animais por área difere na maior parte dos estudos, mas, as maiores taxas de lotação são geralmente verificadas no tratamento com adubação nitrogenada (Homem et al., 2024). Tal condição permite maior produção animal com um ciclo menor, quando comparado ao tratamento sem N (Lima et al., 2022).

Tabela 5: Emissões de metano entérico (CH₄) em função de diferentes doses de nitrogênio em pastagens tropicais.

Autor (ano)	Espécie e cultivar	Tipos de solo	Fonte de N	Dose de N kg/ha de N	CH ₄ g/animal/dia	CH ₄ g/kg MSI ⁽¹⁾	CH ₄ g/kg GMD ⁽²⁾	CH ₄ kg/ha/ano	CH ₄ YM (%) ⁽³⁾
Homem et al., (2024)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Latossolo	Ureia	0 150	165 170	30,2 26,7	-	320 648	-
Lima et al., (2022)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Latossolo Vermelho escuro	Nitrato de amônio	0 75 150	141 173 179	19,1 21,7 22,5	204 202 193	-	6,2 6,9 7,1
Berça et al., (2019)	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Latosolo Vermelho escuro	Ureia	0 150	115 140	16,4 16,2	-	-	4,9 4,9

(1) MSI: Matéria seca ingerida; (2) GMD: Ganho médio diário; (3) YM (%) : taxa de conversão de metano (perda de energia do metano em relação à ingestão bruta de energia)

Estudos recentes apresentam que, em função do N aumentar a quantidade e a qualidade da forragem produzida, o que leva a consumirem mais, digerem e fermentam maiores quantidades de alimento no rúmen, resultando inevitavelmente em maiores produções de CH₄ entérico, mas os animais produzem mais e ficam menos tempo no sistema (Gerber et al., 2013). À medida que o animal converte o alimento mais rapidamente em produto (carne ou leite), a intensidade de emissão de CH₄ diminui (Congio et al., 2018; Dellantonio et al., 2021).

Em sistemas baseados em pastagens, o potencial de mitigação é maior à medida que a intensificação aumenta, ou seja, quando o sistema progride de extensivo para intensivo (Beauchemin et al., 2022). Meo-Filho et al., (2022) avaliando a intensificação da produção animal em diferentes sistemas de produção baseado em pastagens tropicais sobre as emissões de CH₄ entérico, observaram que as emissões diárias de CH₄ são similares entre um sistema extensivo e um intensivo. Entretanto, quando se compara as emissões em CH₄/kg de produto animal produzido (kg CH₄ kg carcaça eq⁻¹) entre os dois sistemas, a intensidade de emissão é menor no mais intensificado.

Dellantonio et al., (2021), também comparando o efeito da intensificação do sistema na recria e terminação de bovinos Nelore e F1 Angus, em pastos tropicais com e sem adubação nitrogenada e adoção de suplementação, observaram que o sistema menos intensivo, emite 311,7 CH₄ g.kg⁻¹ de ganho de carcaça, enquanto, sistemas mais intensivos as emissões são de 142,0 CH₄ g.kg⁻¹ de ganho de carcaça. Tais resultados podem estar associados ao maior controle da estrutura do pasto (sistema intensivo), utilização de animais cruzados (heterose) e suplementação.

Por outro lado, o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados resulta em impactos ambientais, principalmente, ligados a volatilização de NH₃ (Dubeux & Sollenberge, 2020). A amônia não é considerada um GEE, porém, pode ser utilizada como fonte indireta na formação de N₂O (IPCC, 2019). Em ambientes de pastagens sob pastejo animal, a deposição de fezes e urina são as principais fontes de volatilização de NH₃. Nesse sentido, pastos adubados com N tendem a emitirem mais amônia via urina e fezes, quando comparados a pastos não fertilizados (Longhini et al., 2020).

De forma geral, maiores emissões de N₂O e NH₃ são verificadas para urina em comparação a fezes (Monteiro et al., 2024). Homem et al., (2024), verificaram que as excreções totais de N (urina + fezes) são maiores em pastos fertilizados com N (122,3 g/animal/dia), porém pastos consorciados de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi*, e/ou sem adubação nitrogenada não diferem quanto a excreção total de N (96,3 e 80,7 g/animal/dia,

respectivamente).

O N presente nas fezes está quase todo em formas orgânicas, que não foram liberadas como compostos orgânicos simples ou N mineral durante a passagem pelo trato digestivo dos animais (Dijkstra et al., 2013). Em contrapartida, o N excretado pela urina está quase na sua totalidade na forma de ureia (Monteiro et al., 2024). Diferenças estas que fazem com que a urina, logo após ser excretada seja convertida NH_3 (Cardoso et al., 2019).

Em função das menores perdas de N em pastos consorciados, uma das formas de intensificação da produção animal em regiões de clima tropical se dá por meio do uso de leguminosas, sobretudo as da espécie *Arachis pintoi*, e *Cajanus cajan* (Enciso Valencia et al., 2021; Boddey et al., 2020; Furtado et al., 2023). Longhini et al. (2020), verificaram que as emissões cumulativas de NH_3 das excretas em pastos de capim-marandu consorciado são menores (12,2% de perda via NH_3), quando comparado a pastos adubados com 150 kg/ha de N (16,4% de perda via NH_3).

Uma parte do N aplicado superficialmente nos pastos pode ser perdido via volatilização de NH_3 , lixiviação e escoamento superficial (Morais et al., 2013; Corrêa et al., 2018). A intensidade das perdas do N para o ambiente estão relacionadas à associação da fonte do fertilizante, das condições ambientais no momento da aplicação do N, do parcelamento ou não da dose aplicada (Corrêa et al., 2021). Esses fatores podem também afetar a eficiência de utilização do N, assim como influenciar as emissões de N_2O (Pereira, Herling & Tech, 2022; Monteiro et al., 2024).

Corrêa et al., (2021), avaliando as emissões de GEE em pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sob diferentes doses e fontes de N, verificaram que existem reduções nas perdas por volatilização utilizando nitrato de amônio e/ou sulfato de amônio quando comparado a ureia. Entretanto, os autores observaram que as perdas de ureia são minimizadas quando há fracionamento na aplicação do N. Para as doses de 90, 180 e 270 kg/ha de N, aplicadas em dose única as perdas por volatilização de NH_3 foram de 13,9%, 24,4% e 44,6%. Quando estas mesmas doses foram fracionadas em três aplicações, as perdas de NH_3 foram de 6,3%, 10,9% e 24,1%.

A aplicação do N sob condição de umidade do solo tem efeito positivo sobre o aproveitamento do fertilizante. Zaman et al., (2013), verificaram que sob irrigação de 5 a 10 mm, durante 8 horas após a aplicação de ureia as perdas de N via NH_3 são menores quando comparadas a irrigações de 24 e 48 horas. O mesmo vale para precipitações, chuvas de baixos volumes (5 a 10 mm) podem estimular a maior hidrólise do adubo, enquanto uma chuva maior pode favorecer a infiltração do adubo no solo (Sommer et al., 2004).

Durante as primeiras 24 a 48 horas, após a aplicação de fertilizantes nitrogenados, especialmente a ureia, são convertidos pela enzima urease em amônio (NH_4^+) e íons de carbonato (CO_3^{2-}). O carbonato, é hidrolisado em bicarbonato (HCO_3^-) e íons de OH, aumentando o pH do solo para acima de 8. Esse pH elevado faz com que a matéria orgânica libere NH_3 , já que a relação $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ é afetada. Assim, a maior disponibilidade de NH_3 pode ser oxidada pelas bactérias oxidantes de amônia, gerando N_2O (Prosser et al., 2020).

Assim como o N_2O , o CH_4 emitido pelo solo também sofre influência de microrganismos e fatores abióticos, tais como a saturação por água ou não dos poros do solo (Cardoso et al., 2019). Raposo et al., (2020), ao avaliar as emissões de GEE em pastagens tropicais adubadas com três doses de N (90, 180 e 270 kg/ha de N) e um controle (0), verificaram que com o aumento nas doses de N, houve a maior oxidação e/ou consumo de CH_4 pelos microrganismos do solo. O que sugere que pastos tropicais adubados com N podem servir como sumidouros significativos de CH_4 .

O aumento dos teores de carbono em profundidade no solo é um bom indicador de estoque de carbono (Beloni et al., 2016). Pastagens com sistema radicular mais profundo podem estocar mais carbono em profundidade e assim reduzir as emissões de CO_2 para a atmosfera (Aryarza et al., 2022). Gurgel et al., (2020) verificaram efeito residual de N após um ano sem adubação nitrogenada, após três anos consecutivos fertilização. Mesmo após um ano sem a aplicação de N, verificou-se aumentos nos estoques de carbono até 100 cm de profundidade.

Para que haja aumentos nos estoques de carbono e N em profundidade em pastagens tropicais, além da adubação nitrogenada, práticas como o ajuste na taxa de lotação e o controle da intensidade de pastejo devem ser implementadas (Gurgel et al., 2020). Além disso, a manutenção da área foliar residual dos pastos pode afetar positivamente as emissões de CO_2 , bem como atuar sobre o sequestro (Dellantonio et al., 2021).

A pegada de carbono é um meio eficaz para comparar a intensidade das emissões de GEE ($\text{kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ produto), representado como um equivalente de dióxido de carbono (CO_2eq), que é uma unidade padrão de emissão integrada de diferentes gases (Dellantonio et al., 2021). Tal metodologia tem sido amplamente utilizada para avaliar o efeito da intensificação por meio do uso de N em pastagens em função da sua pegada de carbono (Lima et al., 2022).

Lima et al., (2022) verificando o efeito da intensificação do sistema durante a recria de touros Nelore por meio da adubação nitrogenada (0, 75, 150 kg/ha de N) verificaram que a intensidade de emissão de GEE (CO_2 e kg carcaça^{-1}) dos sistemas onde as pastagens foram adubadas com 75 kg/ha de N foram semelhantes às aquelas sem adubação com N, mas com a taxa de lotação duas vezes maior. O que sugere que a adubação nitrogenada moderada e controle da

estrutura do pasto são as tecnologias mais importantes para reduzir o impacto ambiental dos sistemas sob pastagens tropicais.

É importante ressaltar que apesar do efeito benéfico da intensificação sobre a produção, podem ocorrer aumentos nas emissões de CO₂, N₂O e NH₃. Dessa forma, a utilização de abordagens como a análise de ciclo de vida (ACV) são recomendadas para a contabilização do impacto de cada sistema de produção (Beauchemin et al., 2022).

Pesquisas de ACV, são escassas e pouco usuais em estudos com intensificação de sistemas com forrageiras tropicais no Brasil. Houzer & Scoones (2021), avaliando 164 análises de ciclo de vida relacionadas a pecuária em nível global, verificaram que regiões de clima tropical e menos desenvolvidas são as que menos apresentam dados dessa natureza. Do total de 164 ACV, os autores observaram que 86% dos trabalhos foram realizados na Europa, América do Norte, Austrália e Nova Zelândia, 9% na Ásia, 4% na América Latina e 0,4% na África. Nesse contexto, os impactos ambientais dos sistemas pecuários ainda são pouco estudados e compreendidos nas regiões menos desenvolvidas do planeta.

Apesar da relativa quantidade de trabalhos avaliando as respostas do uso do N sobre a produção vegetal e animal os resultados encontram-se publicados fracionados e com poucas associações entre o efeito da adubação sobre os componentes animal, vegetal e de emissões de gases.

Verifica-se que a maior parte dos estudos referentes a emissões de GEE e adubação nitrogenada em clima tropical são realizados com bovinos, touros (Dellatonia et al., 2021; Lima et al., 2022) novilhas e vacas leiteiras (Berça et al., 2019) e novilhas de corte (Guimarães et al., 2022). Entretanto, são inexistentes trabalhos sob esse mesmo contexto com pequenos ruminantes e com outras forrageiras de clima tropical, tais como as dos gêneros *Cynodon* e *Panicum*.

CONCLUSÃO

As informações expostas nesta revisão de literatura, demonstram a importância da adubação nitrogenada em pastagens tropicais.

O N acelera o ritmo de crescimento das plantas forrageiras, pode promover a melhoria no valor nutritivo da forragem, bem como a disponibilidade de forragem para o consumo dos animais em pastejo. Ainda, pode auxiliar no aumento da capacidade de suporte das pastagens, o que permite mais ciclos de pastejo e se associado ao correto manejo do pastejo, permite ganhos individuais e por unidade de área.

O fracionamento da aplicação das doses de N associado a escolha do momento adequado de adubação, permite a melhoria na eficiência do uso do nutriente pela planta, bem

como na redução das perdas por volatilização de NH_3 , lixiviação e emissão de N_2O .

Doses de N superiores a demanda da planta resultam em aumentos nas emissões de CH_4 , N_2O , NH_3 e CO_2 . No entanto, são necessários mais estudos que quantifiquem as compensações entre as emissões de GEE e o aumento na produção animal.

Nesse sentido, a realização de revisões sistemáticas com abordagem meta-analíticas podem ser uma alternativa para verificar a contribuição da adubação nitrogenada em pastagens tropicais sobre as a produção de forragem, desempenho animal e emissões de GEE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC (2024) Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil.

ABREU N.L. et al. Land use change and greenhouse gas emissions: an explanation about the main emission drivers. **Ciência Animal Brasileira**, 25, 77646E, 2024.

ALECRIM F. B. et al. The influence of tropical pasture improvement on animal performance, nitrogen cycling, and greenhouse gas emissions in the Brazilian Atlantic Forest. **Australian Journal of Crop Science**, 17(4), 392-399, 2023.

ALMEIDA E. M. D. et al. Growth dynamics and nutrient uptake of panicum maximum under nitrogen fertilisation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 66(3), 244-258, (2023)a.

ALMEIDA O.G. et al. Forage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency on rotationally stocked 'Zuri' guineagrass pastures as affected by pre-graze canopy height and N rate. **Grass and Forage Science**, 79(2), 308-317, 2024.

ALMEIDA O. G. et al. Defoliation management and nitrogen fertiliser rate affect canopy structural traits of grazed guineagrass (*Megathyrus maximus*) cv. Zuri under rotational stocking. **Crop and Pasture Science**, 74(12), 1201-1209 (2023) b.

ALVAREZ F. RÍOS P. E. STERLING A. Effects of Organic Fertilization on Biomass Production in *Urochloa* spp. Pastures and Soil Biological and Physical Properties in the Colombian Amazon Region. **Sustainability**, 15(21), 15217, 2023.

ALVES L. C. et al. Morphogenesis of age groups of Marandu palisade grass tillers deferred and fertilised with nitrogen. **Semina: Ciências Agrárias**, v.40, p.2683-2692, 2019.

AYARZA M. et al. Soil carbon accumulation in crop-livestock systems in acid soil savannas of South America: A review. *Advances in agronomy*, 173, 163-226, 2022.

BAPTISTELLA J. L. et al. *Urochloa* in tropical agroecosystems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 4, 119, 2020.

BARBERO R. P. et al. Potencial de produção de bovinos de corte em pastagens tropicais: revisão de literatura. **Ciência Animal Brasileira**, **22**, e69609, 2021.

BEAUCHEMIN K. A. et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, **48**(2), 21-27, 2008.

BEAUCHEMIN K. A. et al. Invited review: Current enteric methane mitigation options. **Journal of Dairy Science**, **105**(12), 9297-9326, 2022.

BELONI T. et al. Root system and resistance to penetration of Mombaça grass fertilized with nitrogen and irrigated. **Semina: Ciências Agrárias**, **37**(5), 3243-3251, 2016.

BERÇA A. S. et al. Methane production and nitrogen balance of dairy heifers grazing palisade grass cv. Marandu alone or with forage peanut. **Journal of animal science**, **97**(11), 4625-4634, 2019.

BERÇA A. S. et al. Protein and carbohydrate fractions in warm-season pastures: Effects of nitrogen management strategies. **Agronomy**, **11**(5), 847, 2021.

BERNDT A. E TOMKINS N. Measurement and mitigation of methane emissions from beef cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. **Animal**, **7**, 363-372, 2013.

BODDEY R. M. et al. Forage legumes in grass pastures in tropical Brazil and likely impacts on greenhouse gas emissions: A review. **Grass and Forage Science**, **75**(4), 357-371, 2020.

BORGES B. M. et al. Growth, herbage accumulation, and nutritive value of 'Tifton 85' bermudagrass as affected by nitrogen fertilization strategies. *Crop Science*, **57**(6), 3333-3342, 2017.

BOTTOMLEY P. J. TAYLOR A. E. E MYROLD D. D. A consideration of the relative contributions of different microbial subpopulations to the soil N cycle. **Frontiers in microbiology**, **3**, 373, 2012.

BOURSCHEIDT M. L. B. et al. Nitrogen input strategies in pastures: mineral fertilizer, bacterial inoculant and consortium with forage peanuts. **Scientific Electronic Archives**, **12**(3), 137-147, 2019.

CABRAL C. E. et al. Effects of timing of nitrogen fertilizer application on responses by tropical grasses. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, **9**(2), 182-191, 2021.

CAMARGO F. C. et al. Morphogenetic and structural traits of Ipyporã grass subjected to nitrogen fertilization rates under intermittent grazing. **Ciência Rural**, **52**(5), e20201074, 2021.

CAMERON K. C. DI H. J. e MOIR J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of applied biology**, **162**(2), 145-173, 2013.

CANTO M. W. D. et al. Características do pasto e eficiência agrônômica de nitrogênio em capim-tanzânia sob pastejo contínuo, adubado com doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, **43**, 682-688, 2013.

CARDOSO A. D. S. et al. Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands. **Sustainability**, **12**(16), 6656, 2020.

CARDOSO A. D. S. et al. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil and Tillage Research**, **194**, 104341, 2019.

CARDOSO A. D. S. et al. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, **143**, 86-96, 2016.

CASTAGNARA D. D. et al. Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, **32**(4), 1637-1647, 2011.

CECATO U. et al. Desempenho animal, produção e valor nutritivo do capim Tanzânia adubado com nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, **38**(6), 3861-3870, 2017.

CHAPUIS-LARDY L. Y. D. I.E. et al. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, **13**(1), 1-17, 2007.

CONGIO G. F. S. D. et al. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, **312**, 127693, 2021.

CONGIO G. F. S. D. et al. Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. **Science of the total environment**, **636**, 872-880, 2018.

CORREA D. C. et al. Are CH₄, CO₂, and N₂O emissions from soil affected by the sources and doses of n in warm-season pasture?. **Atmosphere**, **12**(6), 697, 2021.

COSTA C. M. et al. The 4R management for nitrogen fertilization in tropical forage: A review. **Australian Journal of Crop Science**, **14**(11), 1834-1837, 2020.

COSTA K. A. D. P. et al. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: II-nutrição nitrogenada da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **32**, 1601-1607, 2008.

CUI J. et al. Elevated CO₂ levels promote both carbon and nitrogen cycling in global forests. **Nature Climate Change**, **14**(5), 511-517, 2024.

DA SILVA S. C. SBRISSIA A. F. e PEREIRA L. E. T. Ecophysiology of C₄ Forage Grasses Understanding Plant Growth for Optimising Their Use and Management. **Agriculture**, v. **5**, n. **3**, p. 598–625, 2015.

DALIR N. Nutrients Uptake and Transport in Plants: An Overview. **Plant Ionomics: Sensing, Signaling, and Regulation**, 180-190, 2023.

DALLANTONIA E. E. et al. Performance and greenhouse gas emission of Nellore and F1 Angus× Nellore yearling bulls in tropical production systems during backgrounding and finishing. **Livestock Science**, **251**, 104646, 2021.

DE VRIES W. et al. Integrated assessment of agricultural practices on large scale losses of ammonia, greenhouse gases, nutrients and heavy metals to air and water. **Science of the total Environment**, **857**, 159220, 2023.

DEL PRADO A. LINDSAY B. e TRICARICO J. Retrospective and projected warming-equivalent emissions from global livestock and cattle calculated with an alternative climate metric denoted GWP. **Plos one**, **18**(10), e0288341, 2023.

DELEVATTI L. M. et al. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific reports**, **9**(1), 7596, 2019.

DOBERMANN A. Looking forward to 2030: nitrogen and the sustainable development goals. In *Proceedings of the International Nitrogen Initiative Conference, Melbourne* p. 5. 2016.

DOMICIANO L. F. et al. Physiological responses and forage accumulation of Marandu palisadegrass and Mombaça guineagrass to nitrogen fertilizer in the Brazilian forage-based systems. **Grassland Science**, **67**(2), 93-101, 2021.

DUBEUX J. C. e SOLLENBERGER L. E. Nutrient cycling in grazed pastures. In *Management strategies for sustainable cattle production in southern pastures*. **Academic Press**. pp. 59-75, 2020.

ENCISO VALENCIA K. J. et al. Risk reduction and productivity increase through integrating *Arachis pintoi* in cattle production systems in the Colombian Orinoquia. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, **5**, 666604, 2021.

EUCLIDES V. P. B. et al. Grazing intensity affects forage accumulation and persistence of Marandu palisadegrass in the Brazilian savannah. **Grass and Forage Science**, **74**(3), 450-462, 2019.

EUCLIDES V. P. B. et al. Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaça guinea grass pastures. **Scientific Reports**, **12**(1), 1937, 2022.

EUCLIDES V. P. B. et al. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**, **61**, 808-818, 2014.

FREITAS F. P. D. et al. Forage yield and nutritive value of Tanzania grass under nitrogen supplies and plant densities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, **41**, 864-872, 2012.

FURTADO A. J. et al. Pigeon pea intercropped with tropical pasture as a mitigation strategy for enteric methane emissions of Nellore steers. **Animals**, **13**(8), 1323, 2023.

GARCIA L. et al. Nutrient excretion from cattle grazing nitrogen-fertilized grass or grass-legume pastures. **Agronomy Journal**, **113**(4), 3110-3123, 2021.

Gimenes F. M. D. A. et al. Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, **46**, 751-759, 2011.

GRANT K. N. et al. Nutrient leaching in soil affected by fertilizer application and frozen ground. **Vadose Zone Journal**, **18**(1), 1-13, 2019.

GRZYB A. WOLNA-MARUWKA A. e NIEWIADOMSKA A. The significance of microbial transformation of nitrogen compounds in the light of integrated crop management. **Agronomy**, **11**(7), 1415, 2021.

GUIMARÃES B. C. et al. Emissions of N₂O and NH₃ from cattle excreta in grass pastures fertilized with N or mixed with a forage legume. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, **122**(3), 325-346, 2022.

GURETZKY J. A. et al. Nitrogen input effects on herbage accumulation and presence of pasture plant species. **Agronomy Journal**, **105**(4), 915-921, 2013.

GURGEL A. L. C. et al. Nitrogen fertilisation in tropical pastures: what are the impacts of this practice?. **Australian Journal of Crop Science**, **14**(6), 978-984, 2020.

GURGEL A. L. C. et al. Carbon and nitrogen stocks and soil quality in an area cultivated with guinea grass under the residual effect of nitrogen doses. *Sustainability*, **12**(22), 9381, 2020.

HE Z. et al. Ammonia mitigation measures reduce greenhouse gas emissions from an integrated manure-cropland system. **Journal of Cleaner Production**, **422**, 138561, 2023.

HOMEM B. G. C. et al. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 2. Effects on animal performance, forage intake and digestion, and nitrogen metabolism. **Grass and Forage Science**, **76**(3), 413-426, 2021a.

HOMEM B. G. C. et al. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage N-fertiliser application or legume integration enhances N cycling in tropical pastures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, **121**(2), 167-190, 2021 b.

HOMEM B. G. C. et al. Forage peanut legume as a strategy for improving beef production without increasing livestock greenhouse gas emissions. **animal**, **18**(5), 101158, 2024.

HOUZER E. e SCOONES I. (2021). Are livestock always bad for the planet? Rethinking the protein transition and climate change debate. Institute of Development Studies (IDS), PASTRES. <https://pastres.org/livestock-report/>

HRISTOV N. A. et al. *Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in Livestock Production: A Review of Technical Options for Non-CO₂ Emissions*; FAO: Rome, Italy., 2013.

IRVING L. J. Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. **Agriculture**, **5**(4), 1116-1134, 2015.

JANSSON S. L. e PERSSON J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. **Nitrogen in agricultural soils**, **22**, 229-252, 1982.

JAYASINGHE P. et al. Comparison of nutritive values of tropical pasture species grown in different environments, and implications for livestock methane production: a meta-analysis. **Animals**, **12**(14), 1806, 2022.

LASSALETTO L. et al. Food and feed trade as a driver in the global nitrogen cycle: 50-year trends. **Biogeochemistry**, **118**, 225-241, 2014.

LIMA L. D. O. et al. N-fertilization of tropical pastures improves performance but not methane emission of Nelore growing bulls. **Journal of Animal Science**, **101**, skac362, 2022.

LIU L. et al. Ammonia volatilization as the major nitrogen loss pathway in dryland agroecosystems. **Environmental Pollution**, **265**, 114862, 2020.

LONGHINI V. Z. et al. *Nitrogen supply and rainfall affect ammonia emissions from dairy cattle excreta and urea applied on warm-climate pastures*. Vol. **49**, No. 6, pp. 1453-1466, 2020

LONGHINI V. Z. et al. Modelos matemáticos para ajustes na quantificação da volatilização de amônia do fertilizante ureia aplicado em pastagens tropicais. **Ciência rural**, **54** (5), 12, 2024.

MARSCHNER P. e RENGEL Z. Nutrient availability in soils. *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*. **Elsevier**. 499-522, 2023.

MARTUSCELLO J. A. et al. Morphogenetic and structural characteristics responses of massagrass under nitrogen fertilization and defoliation. **Revista Brasileira de Zootecnia**, **35**, 665-671, 2006.

MARTUSCELLO J. A. et al. Morphogenetic and structural characteristics responses of Produção de forragem, morfogênese e eficiência agronômica do adubo em capim BRS Quênia sob doses de nitrogênio. *Boletim de Indústria Animal*, **75**, 1-12, 2018.

MARTUSCELLO J. A. et al. Morphogenetic and structural characteristics responses of Adubação nitrogenada em capim-massai: morfogênese e produção. **Ciência Animal Brasileira**, **16**, 1-13, 2015.

MASSON-DELMOTTE V. et al. IPCC 2021. Summary for Policymakers. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2023.

MEO-FILHO P. et al. Can intensified pasture systems reduce enteric methane emissions from beef cattle in the atlantic forest biome?. **Agronomy**, **12**(11), 2738, 2022.

MONTEIRO R. C. et al. Impact of a forage legume or nitrogen fertilizer application on ammonia volatilization and nitrous oxide emissions in Brachiaria pastures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **48**, e0240012, 2024.

MORAIS R. F. D. et al. Ammonia volatilization and nitrous oxide emissions during soil preparation and N fertilization of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Soil Biology and Biochemistry*, **64**, 80-88, 2013.

OLIVEIRA P. P. A. et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). **Animal**, **14**(S3), s427-s437, 2020.

ONGARATTO F. et al. Intensive production and management of Marandu palisadegrass (*Urochloa brizantha* 'marandu') accelerates leaf turnover but does not change herbage mass. **Agronomy**, **11**(9), 1846, 2021.

ONGARATTO F. et al. Effect of the Interaction between Excreta Type and Nitrogen Fertilizer on Greenhouse Gas and Ammonia Emissions in Pastures. **Atmosphere**, **14**(3), 492, 2023.

PEREIRA L. E, T. HERLING V. R. E TECH A. R. B. Current scenario and perspectives for nitrogen fertilization strategies on tropical perennial grass pastures: A review. **Agronomy**, **12**(9), 2079, 2022.

PINHEIRO E.F.M. et al. Emissões de óxido nitroso sob cobertura vegetal de pastagem numa topossequência em Seropédica, RJ. **Revista Virtual de Química**. **10**(6), 2018.

PONTES L. D. S. et al. Effects of nitrogen fertilization and cutting intensity on the agronomic performance of warm-season grasses. **Grass and Forage Science**, **72**(4), 663-675, 2017.

PROSSER J. I. et al. Nitrous oxide production by ammonia oxidizers: physiological diversity, niche differentiation and potential mitigation strategies. **Global Change Biology**, **26**(1), 103-118, 2020.

QUADROS F. L. F. D. et al. Nitrogen efficiency in marandupalisadegrass pastures under increasing nitrogen levels. **Ciência Rural**, **54**(3), e20230049, 2023.

RAPOSO E. et al. Greenhouse gases emissions from tropical grasslands affected by nitrogen fertilizer management. **Agronomy Journal**, **112**(6), 4666-4680, 2020.

REIS G. L. et al. Economic evaluation of the application of nitrogen fertilizers in pastures intended for lactating cows. **Ciência e Agrotecnologia**, **34**, 730-738, 2010.

REIS R. A. et al. Supplementation of beef cattle as strategy of pasture management. **Revista Brasileira de Zootecnia**, **38**, 147-159, 2009.

ROMA C. F. D. C. et al. Morphogenetic and tillering dynamics in Tanzania grass fertilized and non-fertilized with nitrogen according to season. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **41**, 565-573, 2012.

RUGGIERI A. C. et al. Grazing Intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: analysis of brachiaria Pastureland. *Agronomy*, **10** (11), 1750, 2020.

RUSER R. et al. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. *Soil Biology and Biochemistry*, **38** (2), 263-274, 2006.

SAKADEVAN K. e NGUYEN M. L. Livestock production and its impact on nutrient pollution and greenhouse gas emissions. **Advances in agronomy**, **141**, 147-184, 2017.

SALES K. C. et al. What is the maximum nitrogen in marandu palisadegrass fertilization?. **Grassland Science**, **66**(3), 153-160, 2020.

SANTOS M. E. R. et al. nutritivo de perfilhos e componentes morfológicos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, **39**, 1919-1927, 2010.

SARTOR L. R. et al. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an alexandergrass pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, **35**, 899-906, 2011.

SIGUA G. C. et al. Nitrogen recovery and agronomic efficiency of forages with nitrogen fertilization under flooded condition. **Agric. Sci.** **4**, 138, 2013.

Silva R. D. O. D. et al. Effects of increasing nitrogen levels in Mombasa grass on pasture characteristics, chemical composition, and beef cattle performance in the humid tropics of the Amazon. **Tropical Animal Health and Production**, **52**, 3293-3300, 2020.

SINISCALCHI D. et al. PSII-14 Chemical Composition of Tropical Forage Fertilized with Different Sources of Nitrogen Fertilizers. **Journal of Animal Science**, **101**(Supplement_3), 482-483, 2023.

SOMMER S. G. SCHJOERRING J. K. and DENMEAD O. T. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. **Advances in agronomy**, **82**(557622), 82008-4, 2004.

SONE J. S. et al. Effects of nitrogen fertilisation and stocking rates on soil erosion and water infiltration in a Brazilian Cerrado farm. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, **304**, 107159, 2020.

SOUSA C. C. C. et al. The soil-plant interface in *Megathyrus maximus* cv. Mombasa subjected to different doses of nitrogen in rotational grazing. **Revista mexicana de ciencias pecuarias**, **12**(4), 1098-1116, 2021.

SOLOMON S. IPCC (2007) Climate change the physical science basis." *Agu fall meeting abstracts*. Vol. 2007.

TAIZ L. ZEIGER E. MØLLER I. M. and MURPHY A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6ed. [s.l.] **Artmed Editora**, 2017.

THORNTON P. K. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **365**(1554), 2853-2867, 2010.

THORNTON P. K. and HERRERO M. The inter-linkages between rapid growth in livestock production, climate change, and the impacts on water resources, land use, and deforestation. World Bank Policy Research Working Paper, WPS 5178. World Bank, Washington, DC, USA, 2009.

VAGHAR SEYEDIN S. M. et al. Methane emission: Strategies to reduce global warming in relation to animal husbandry units with emphasis on ruminants. **Sustainability**, **14**(24), 16897, 2022.

VENDRAMINI J. M. DEUBEX JÚNIOR J. C. and SILVEIRA M. L. (2014) Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, **9**(2), 308-315.

WANG Y et al. High $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio inhibits the growth and nitrogen uptake of Chinese kale at the late growth stage by ammonia toxicity. **Horticulturae**, **8**(1), 8, 2021.

YASUOKA J.I. et al. Canopy height and N affect herbage accumulation and the relative contribution of leaf categories to photosynthesis of grazed brachiariagrass pastures. **Grass and Forage Science**, **73**(1), 183-192, 2018.

ZAMAN M, SAGGAR S E STAFFORD AD. Mitigation of ammonia losses from urea applied to a pastoral system: The effect of nBTPT and timing and amount of irrigation. In **Proceedings of the New Zealand Grassland Association** pp. 209-214, 2013.

CAPÍTULO II - EFEITOS DA ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE A PRODUÇÃO DE FORRAGEM, DESEMPENHO ANIMAL E EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM PASTAGENS TROPICAIS – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.

RESUMO

Objetivou-se avaliar por meio de uma revisão sistemática da literatura os efeitos da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais. Foi elaborado um protocolo de revisão, onde os descritores para busca foram previamente testados e baseados na estratégia mnemônica PICOS para elaboração da questão norteadora onde a população (P) foi de gramíneas forrageiras tropicais, a intervenção (I) foi a adubação nitrogenada, a comparação (C) foi o uso de diferentes doses de nitrogênio, e o desfecho, do inglês *outcome* (O) foi a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa. O tipo de estudo, do inglês *style* (S), foi admitido apenas estudos experimentais. Dessa forma, foi elaborada a seguinte questão norteadora: “Quais os efeitos da adubação nitrogenada (tipos de N e doses) sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais?”. Para busca eletrônica de alta sensibilidade foram utilizadas as seguintes fontes de informações: SCOPUS (Elsevier), Web of Science (Coleção principal), Springer Link, SciELO, Science Direct (Elsevier) e Cab Direct. A pesquisa identificou 84,629 documentos, desses 66,976 eram artigos científicos. Do total, 54 artigos foram identificados como fontes potenciais de dados de interesse. No entanto, apenas 34 foram incluídos para a extração dos resultados. Dentre as condições experimentais dos estudos 69,7% foram realizados sob pastejo e 30,3% em parcelas. Nos estudos sob pastejo, 58,3% utilizaram o método de pastejo de lotação contínua e 37,5% lotação intermitente. Entre os gêneros e espécies de forrageiras tropicais estudadas, 52,9% foram realizados com *Brachiaria Brizantha* e 26,5% *Panicum maximum*. As fontes de nitrogênio (N) mais testadas foram: Ureia (53,2%) e Nitrato de amônio (25,5%). As doses testadas variaram de 0 até 1,000 kg/ha de N. O N promove aumentos consistentes sobre a produção de forragem e desempenho animal. A aplicação de doses alinhadas com a capacidade de assimilação das plantas, a escolha do momento de aplicação e da fonte de N, associado ao fracionamento dose anual de N, são estratégias imprescindíveis para a redução das perdas de N, aumento na eficiência de utilização e redução potencial no impacto ambiental.

Palavras-chave: *Brachiaria*, Capacidade de suporte, Emissões diretas e indiretas, Fracionamento do N, *Panicum*, Redução de emissões.

ABSTRACT

The objective of this systematic literature review was to evaluate the effects of nitrogen fertilization on forage production, animal performance and greenhouse gas emissions in tropical pastures. A review protocol was drawn up, in which the search descriptors were previously tested and based on the PICOS mnemonic strategy to elaborate the guiding question where the population (P) was tropical forage grasses, the intervention (I) was nitrogen fertilization, the comparison (C) was the use of different doses of nitrogen, and the outcome (O) was forage production, animal performance and greenhouse gas emissions. The type of study, style (S), allowed only experimental studies. Thus, the following guiding question was developed: “What are the effects of nitrogen fertilization (types of N and doses) on forage production, animal performance and greenhouse gas emissions in tropical pastures?”. The following information sources were used for a highly sensitive electronic search: SCOPUS (Elsevier), Web of Science (Main Collection), Springer Link, SciELO, Science Direct (Elsevier) and Cab Direct. The search identified 84,629 documents, of which 66,976 were scientific articles. Of the total, 54 articles were identified as potential sources of data of interest. However, only 34 were included for the extraction of results. Among the experimental conditions of the studies, 69.7% were carried out under grazing and 30.3% on plots. In the studies under grazing, 58.3% used the continuous stocking method and 37.5% intermittent stocking. Of the tropical forage genera and species studied, 52.9% were *Brachiaria Brizantha* and 26.5% *Panicum maximum*. The most commonly tested nitrogen (N) sources were urea (53.2%) and ammonium nitrate (25.5%). The doses tested ranged from 0 to 1,000 kg/ha of N. N promotes consistent increases in forage production and animal performance. Applying doses in line with the plants' assimilation capacity, choosing the time of application and the source of N, together with fractioning the annual dose of N, are essential strategies for reducing N losses, increasing utilization efficiency and potentially reducing environmental impact.

Keywords: *Brachiaria*, Carrying capacity, Direct and indirect emissions, Emissions reduction, N fractionation, *Panicum*.

INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial para potencializar o crescimento e a persistência de forrageiras tropicais (Pereira, Herling e Tech, 2022). A deficiência de N, associada à de outros nutrientes, como fósforo (P) e potássio (K), aliada ao manejo incorreto do pastejo são algumas das principais causas da perda na capacidade produtiva dos pastos, bem como alguns dos principais fatores causadores de degradação das pastagens (Pasquini Neto et al., 2025).

Em regiões tropicais, o uso do N em pastagens tem fundamental importância, pois grande parte das gramíneas utilizadas nos sistemas produtivos apresentam de média a alta exigência deste nutriente. Em função das altas taxas de crescimento, produção e capacidade de extração de nutrientes, como é o caso das gramíneas dos gêneros: *Panicum*, *Pennisetum*, *Cynodon* e *Brachiaria* (Pereira, Herling e Tech, 2022).

O uso do N em pastagens tropicais demonstra-se como uma prática imprescindível de intensificação da produção de alimentos (Silva et al., 2024), em função dos significativos aumentos na produção de forragem e desempenho dos animal (Galindo et al., 2017; Oliveira et al., 2020; Euclides et al., 2022). Tal condição tem papel fundamental dado a necessidade de aumento na produção de alimentos em nível global (FAO, 2018; FAO, 2023).

Alguns estudos sugerem que o uso racional de N em pastagens tropicais, pode potencializar o uso da terra, reduzir a necessidade de abertura de novas áreas para a pecuária, bem como aumentar a eficiência de utilização do nutriente (Bastidas et al., 2024). Contudo, o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados, pode provocar perdas substanciais de N, a depender da fonte utilizada, principalmente por volatilização de NH_3 e emissões de N_2O , resultando em menor eficiência do uso do fertilizante e maior impacto ambiental, assim potencialmente contribuindo para o aquecimento global (AG) (Raposo et al., 2020).

O AG é caracterizado pelo aumento substancial da temperatura média do planeta, o qual influencia na velocidade de degelo das calotas polares, aumento no nível dos oceanos, extinção de organismos vivos e alteração das condições climáticas (IPCC, 2007). Esses fenômenos impactam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, sendo os principais o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) (Abreu et al., 2024).

Na atmosfera, os GEE estão presentes em diferentes concentrações, sendo CO_2 (62%), CH_4 (16%) e N_2O (7%). Os gases são expressos em equivalente de CO_2 ou Potencial de Aquecimento Global (PAG), assim o CO_2 tem peso de 1 PAG, o CH_4 de 28 PAG e o N_2O de 265 PAG, sendo assim os dois últimos possuem as maiores capacidades de poluição (IPCC,

2019). Esses gases são produzidos pelas atividades antrópicas nos setores de energia, agropecuária, industrial, bem como por meio de resíduos e através da mudança no uso da terra (Abreu et al., 2024).

Nos países industrializados, a maior parte das emissões são provenientes de setores como indústria, transportes e geração de energia (Xin, Ahmad e Khattak, 2021). Contrariamente, nos países em desenvolvimento, as maiores emissões advêm de atividades agropecuárias (Houzer e Scoones 2021), principalmente ligadas a fermentação entérica, manejo de resíduo (urina e fezes), aplicação de fertilizantes nitrogenados e emissões do solo (Mazzetto et al., 2015) (Cardoso et al., 2022).

Os efeitos da adubação nitrogenada associando as respostas da planta forrageira, resposta animal e as emissões de GEE, ainda são pouco investigados sobretudo em regiões de clima tropicais na América do Sul e Central (Moraes et al., 2011; Rodrigues et al., 2022). Os protocolos experimentais atuais concentram-se em avaliar na grande maioria das vezes um ou dois desses componentes (Gurgel et al., 2021; Almeida et al., 2024), o que gera lacunas de informações.

Objetivou-se avaliar por meio de uma revisão sistemática da literatura os efeitos da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais, a partir de estudos primários publicados em revistas científicas.

MÉTODOS

Trata-se de uma Revisão Sistemática (RS) de Literatura, conduzida e relatada de acordo com as diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyse* - PRISMA (Page et al., 2021). Uma RS é um tipo de revisão da literatura que usa estratégias pré-definidas para minimizar o viés na identificação e análise de dados de artigos originais publicados anteriormente (Moher et al., 2015).

Protocolo de revisão e questão norteadora

Para execução desta RS foi elaborado previamente um protocolo de revisão, testado e aprimorado para garantir um correto procedimento de busca e extração dos artigos (Apêndice A). O protocolo de revisão foi registrado e encontra-se disponível na plataforma *Open Science Framework* sob o link: <https://osf.io/ujt7q/>.

Foi utilizada uma estratégia de busca de alta sensibilidade para responder ao objetivo da pesquisa. A questão norteadora foi definida com base na estratégia PICOS: onde a população (P) foi de gramíneas forrageiras tropicais, a intervenção (I) foi a adubação nitrogenada (tipos de N), a comparação (C) foi o uso de diferentes doses de nitrogênio, e o desfecho, do inglês *outcome* (O) foi a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa. O tipo de estudo, do inglês *style* (S), foi admitido apenas estudos experimentais. Portanto, a pergunta a ser respondida com essa revisão seria: “Quais os efeitos da adubação nitrogenada (tipos de N e doses) sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais?”.

Como forma de garantir o uso de termos sensíveis para a busca de estudos adequados, foi realizada previamente uma análise *peer-review* de artigos científicos publicados sobre o objeto de estudo para identificar os termos mais utilizados, visto que não há padronização de termos controlados para a área de ciências agrárias.

Critérios de elegibilidade

Os estudos incluídos nessa revisão foram artigos de pesquisa completos, disponíveis na íntegra em cinco bases de dados e uma biblioteca eletrônica, no formato de estudos experimentais bem delineados, em qualquer idioma, sem recorte temporal.

Nas buscas, foram excluídos documentos recuperados no formato de cartas editoriais, cartas ao editor, opiniões de especialistas, revisões, correspondências, resenhas, capítulos de livro, teses e dissertações, resumos, palestras, livros. Também foram excluídos trabalhos onde a adubação nitrogenada era de fonte orgânica ou exclusivamente de microrganismos fixadores de nitrogênio, trabalhos com forrageiras nativas., trabalhos com consórcio de gramínea e leguminosa sem tratamento com adubação nitrogenada (avaliando somente o efeito da leguminosa como fonte de N).

Fontes de informação

Para busca eletrônica de alta sensibilidade foram utilizadas as bases de dados SCOPUS (Elsevier), Web of Science (Coleção principal), Springer Link, Science Direct (Elsevier), SciELO e a biblioteca eletrônica Cab Direct até dia 23 de novembro de 2023. Para acesso as fontes de informação utilizou-se o Portal de Periódicos CAPES, por meio do *proxy* da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS, Brasil).

Estratégias de busca

Para a pesquisa por pares nas bases de dados e biblioteca eletrônica foi utilizado descritores e operadores *booleanos* em cinco cruzamentos (Tabela 1). Os cruzamentos foram construídos com o objetivo de encontrar artigos que respondessem à questão norteadora da pesquisa.

Tabela 1. Descritores e cruzamento único realizado na busca de alta sensibilidade para a revisão sistemática.

Acrônimo	Descritores
População (P)	1# (“ <i>Brachiaria</i> ” OR “ <i>Urochloa</i> ” OR “ <i>Panicum maximum</i> ” OR “ <i>Megathyrus</i> ” OR “ <i>Cynodon</i> ” OR “ <i>Andropogon</i> ” OR “ <i>Pennisetum</i> ” OR “ <i>Cenchrus</i> ” OR “ <i>Paspalum</i> ” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tussock grass” OR “Bunchgrass” OR “Creeping grass” OR “Tropical pastures” OR “C ₄ Forage grasses” OR “Tropical grasslands” OR “Tropical grasses” OR “Warm-season pastures” OR “Tropical forage grasses” OR “Tropical grass” OR “ <i>Brachiaria</i> grass” OR “Tropical forage” OR “Tropical-climate grasses”)
AND	
Intervenção (I) e Comparação (C)	2# (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertili*ation” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen effect” OR “Synthetic fertiliser” OR “Nitrogen rate” OR “Nitrogen doses” OR “Nitrogen requirement” OR “N rates” OR “Nitrogen fertilized” OR “Efficiency and nitrogen” OR “Pasture fertilized” OR “Mineral nitrogen” OR “Nitrogen levels” OR “Rates of nitrogen” OR “Nitrogen fertilization in top dressing” OR “Different nitrogen fertilization” OR “Nitrogen fertilization management” OR “Nitrogen fertilizer management” OR “Nitrogen fertilization strategies” OR “Nitrogen-fertilized” OR “Nitrogen management strategies” OR “Nitrogen fertilizers” OR “Nitrogen efficiency use” OR “Nitrogen top dressing” OR “Nitrogen supply” OR “Fertilized with nitrogen” OR “pasture fertilization” OR “Different n sources” OR “Different n doses” OR “N sources” OR “Nitrogen application rate” OR “Different nitrogen fertilizers” OR “Nitrogen efficiency” OR “Nitrogen efficiency use” OR “N fertilizer” OR “Increasing nitrogen rates” OR “Fertilized with nitrogen” OR “Nitrogen fertilization application” OR “Management of nitrogen fertilization” OR “Urea fertilizer” OR “Nitrogen”)
AND	
Resultado (O)	3# (“Forage mass” OR “Forage accumulation” OR “Accumulation rate” OR “Forage production” OR “Number tillers” OR “Tillering” OR “Dry Mass” OR “Biomass” OR “Sward” OR “Herbage” OR “Herbage mass” OR “Herbage accumulation” OR “Tiller population” OR “Grass” OR “Pasture production” OR “Dry matter” OR “Plant height” OR “Pasture” OR “Sward height” OR “Dry matter production” OR “

Cutting number” OR “Growth” OR “Accumulation” OR “Harvest” OR “Forage allowance” OR “Aftermath” OR “Residue” OR “Senescence” OR “Canopy” OR “Canopy height” OR “Rate of accumulation” OR “Structural characteristics” OR “Tiller population density” OR “Forage accumulation rate” OR “Grass forage mass” OR “Biomass accumulation” OR “Forage yield” “Forage nutritive value” OR “Cutting intervals” OR “Cutting heights” OR “Tillering dynamics” OR “Chemical composition” OR “Growth dynamics” OR “Morphogenetic” OR “Morphogenic” OR “Morphogenesis” OR “Stability of tiller population” OR “Agronomic performance” OR “Morphological components” OR “Biomass production” OR “Growth” OR “Tillering capacity” OR “Continuous stocking” OR “Stocking density” OR “Grazing pressure” OR “Intermittent stocking” OR “Rotational stocking” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Forage intake” OR “Paddock” OR “Grazing system” OR “Period of occupation” OR “Stocking period” OR “Grazing intensities” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Grazing efficiency” OR “Grazing system” OR “Herbage intake” OR “Canopy structure” OR “Sward structure” OR “Defoliation intensity” OR “Defoliation strategies” OR “Defoliation patterns” OR “Defoliation dynamics” OR “Light interception” OR “Leaf area index” OR “Canopy height” OR “Sward height” OR “Pasture height” OR “Grazing cycles” OR “Herbage growth rate” OR “Herbage accumulation rate” OR “Morphological composition” OR “Average grazing interval” OR “Mass production” OR “Biomass components” OR “Growth index” OR “Daily forage accumulation” OR “Tillers” OR “Root mass” OR “Herbage allowance” OR “Shoot dry matter” OR “Root dry matter” OR “Leaf dry matter”)

4# (“Animal performance” OR “Sheep” OR “Ruminant” OR “Ruminant” OR “Beef steers” OR “Meat sheep” OR “Cattle” OR “Dairy cattle” OR “Cow” OR “Dairy cows” OR “Dairy cattle” OR “Lambs” OR “Beef cattle” OR “Performance, animal” OR “Production, animal” OR “Animal responses” OR “Weight gain” OR “Average daily gain” OR “Stocking, rate” OR “Live weight gain” OR “Milk production” OR “Livestock performance” OR “Steer” OR “Steers” OR “Heifer” OR “Heifers” OR “Bos taurus” OR “Bos indicus” OR “Cattle production” OR “Ovis aries” OR “Goat” OR “Gain per hectare”)

5# (“Greenhouse gas” OR “Methane emissions” OR “Nitrous oxide emissions” OR “Carbon dioxide emissions” OR “Greenhouse gas balance” OR “Carbon footprint” OR “CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O” OR “Methane production” OR “Nitrous oxide” OR “Greenhouse gas flux” OR “N₂O flux” OR “CH₄ flux” OR “CO₂ flux” OR “N₂O emissions” OR “CH₄ emission factor” OR “N₂O emission factor” OR “Carbon Dioxide” OR “Ammonia emission” OR “Soil methane” OR “CH₄ fluxes” OR “CO₂ fluxes” OR “N₂O fluxes” OR “Nitrous fertiliser” OR “Ammonia volatilization” OR “NH₃ losses” OR “IPCC” OR “Climate Changes” OR “Methane” OR “Ammonia” OR “Enteric methane” OR “GHG” OR “Nitrogen balance” OR “Enteric ch₄” OR

“Methane production” OR “Soil carbon stocks”)	
AND	
Tipos de estudo (S)	Estudos experimentais

Dada a limitação de quantidade de descritores, alguns cruzamentos foram ajustados para as buscas em três bases de dados, sendo elas: Science Direct, Cab Direct e Springer. Com os cruzamentos completos realizou-se as buscas nas bases, através de dois revisores previamente treinados.

A seleção dos trabalhos foi realizada por dois revisores, os mesmos que realizaram as buscas, de forma independente. Nesta seleção cada revisor realizou a leitura de títulos, resumos e palavras-chaves, e cada um de maneira individual aceitou ou rejeitou os trabalhos (com base nos critérios de elegibilidade). Concluída a avaliação de todos os artigos, os revisores reuniram-se e as divergências entre os revisores foram resolvidas por meio de análise dos trabalhos dissonantes. Após, os textos completos dos artigos relevantes foram lidos e examinados na íntegra e selecionados quanto aos critérios de elegibilidade. O *software Microsoft Excel*[®] foi utilizado durante todos os estágios de triagem. Os artigos duplicados foram considerados apenas uma vez.

Processos de coleta de dados

Um formulário no *software Microsoft Excel*[®] foi elaborado para extração de dados dos artigos relevantes. Nesse formulário foi incluída as informações: a identificação da publicação (título do artigo, autores, país, idioma e ano de publicação e DOI), nome da revista científica, aspectos metodológicos do estudo (tempo de avaliação experimental, tratamento, número de repetições, fonte do nitrogênio, fracionamento do nitrogênio, método de pastejo, controle da altura, número de animais testers, categorias animais, raça ou padrão racial dos animais, peso inicial dos animais), variáveis analisadas (características produtivas do pasto, composição química, medidas de desempenho animal, variáveis de emissões de CO₂, CH₄, N₂O, NH₃ e Teores de C e N) e resultados encontrados. Todas as variáveis obtidas após o processo de coleta de dados foram tabuladas com uso do *software Microsoft Excel*[®].

Avaliação da qualidade metodológica e risco de viés

Foi realizada a avaliação da qualidade dos estudos através do instrumento *Critical Appraisals Skills Programme* (CASP, 2018) para estudos experimentais (*CASP Randomised*

Controlled Trial Standard Checklist), composto por 11 perguntas sobre o desenho do estudo, metodologia e resultados.

O risco de viés dos estudos incluídos na amostra final dessa RS, foram avaliados utilizando-se da ferramenta de avaliação crítica para ensaios controlados do *Joanna Briggs Institute (JBI)*, descrita por (Barker et al., 2023). O risco de vieses dos estudos incluídos foi considerado baixo devido a objetividade dos resultados.

RESULTADOS

Estudos selecionados

Foram identificados 84,629 documentos, desses 66,976 eram artigos científicos. Do total, 54 artigos foram identificados como fontes potenciais de dados de interesse. Um total de 34 artigos foram considerados elegíveis e incluídos devido a robustez metodológica para a extração dos dados (Figura 1). Os trabalhos apresentaram alto nível de evidência por serem estudos individuais com delineamento experimental.

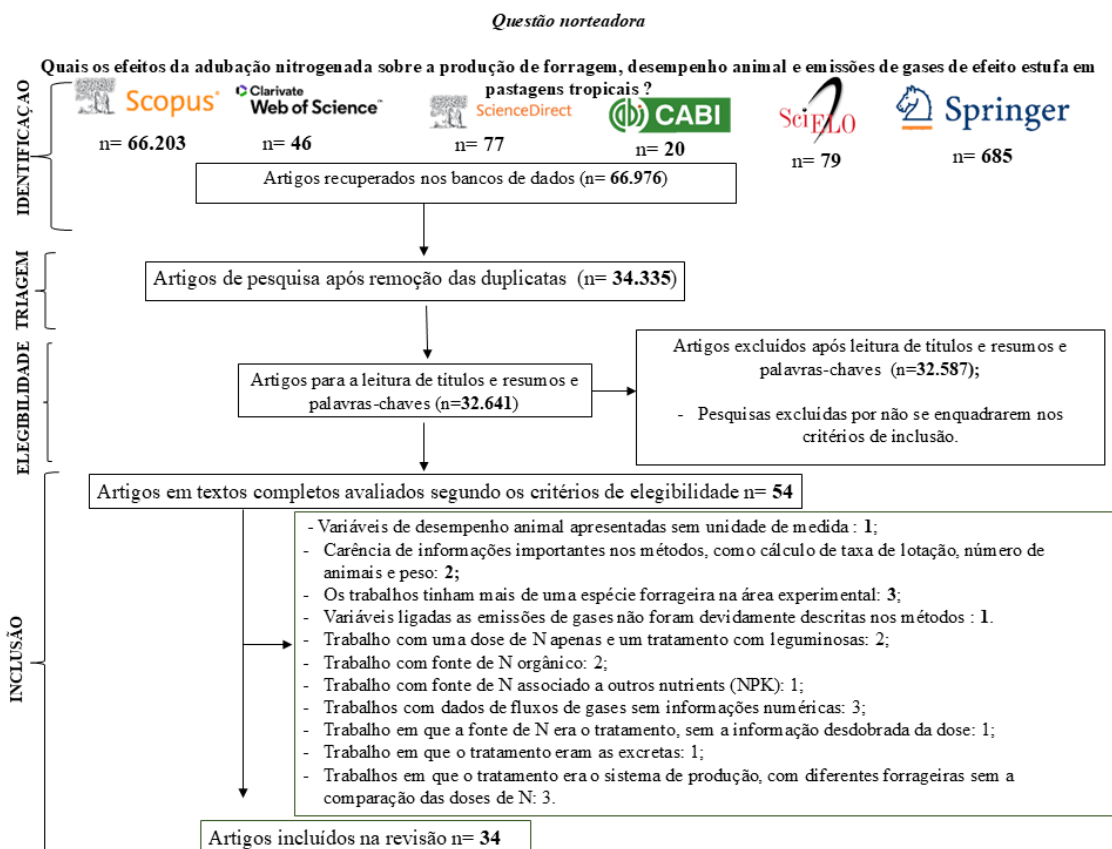


Figura 1. Fluxograma com processo de seleção da amostra final da Revisão Sistemática.

Características dos estudos

Foram recuperados artigos publicados de 2004 a 2023, com 61,76% publicados nos últimos cinco anos. Os estudos incluídos foram realizados no Brasil (31), Costa Rica (1), Honduras (1) e República Dominicana (1) (Figura 2). Do total 76,5% estavam publicados em Inglês, 17,6% em Português, 2,9% Espanhol e 2,9% estavam disponíveis em Inglês e Espanhol (Tabela 2).

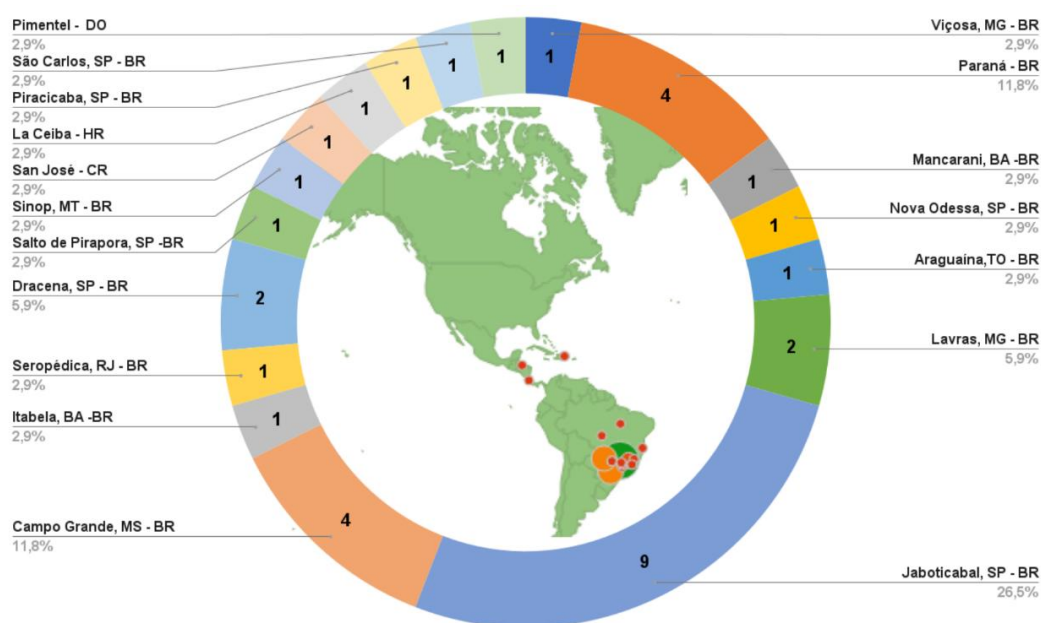


Figura 2. Localização dos estudos que compuseram a RS.

Observou-se uma ampla variação na duração dos experimentos, sendo que o menor período foi de 51 dias e o maior de 1,096 dias (3 anos). Dentre as condições experimentais dos estudos 69,7% dos trabalhos foram realizados sob pastejo e 30,3% em parcelas (Tabela 2). Houve grande variabilidade entre os tipos de solos dos estudos, sendo que 47,1% das pesquisas foram realizadas em Latossolo Vermelho Distrófico, 5,9% em Latossolo Vermelho Escuro e 47% demais tipos de solos (Tabela 2).

Nos estudos sob pastejo, 58,3% dos trabalhos utilizaram o método de pastejo de lotação contínua, 37,5% lotação intermitente e/ou rotativa e 4,2% dos estudos não informaram o método de pastejo adotado. Para o controle da meta de manejo do pastejo 65,2% dos estudos utilizaram a altura como ferramenta de manejo, 17,4% adotou o manejo por dias fixos, 13% a interceptação de luz e 4,3% não apresentou tal informação.

Entre os gêneros e espécies de forrageiras tropicais estudadas, 52,9% dos trabalhos foram realizados com *Brachiaria brizantha*, 26,5% *Panicum maximum*, 5,9% *Brachiaria*

decumbens, 5,9% *Cynodon dactylon* e 8,7% outros. As cultivares de forrageiras tropicais estudadas foram: Marandu (50,0%), Tanzânia (14,7%), Mombaça (11,8%), 11,6% foram outras cultivares avaliadas e em 11,8% dos estudos não houve a descrição da cultivar avaliada.

As fontes de nitrogênio (N) testadas nos estudos foram: Ureia (53,2%), Nitrato de amônio (25,5%), Sulfato de amônio (8,5%) e outras fontes (8,5%). A ureia foi a fonte exclusiva de N em 47,1% dos trabalhos, seguida pelo nitrato de amônio que foi avaliado exclusivamente em 17,6% dos estudos. No restante dos 64,7% dos estudos as fontes de N foram testadas em conjunto (verificando o efeito de cada fonte) e/ou associadas a moléculas inibidoras da perda de N, tais como Nitrapirina (inibidora de nitrificação) e NBPT (N-(n-butil) triamida tiofosfórica) (inibidora de urease).

Entre os estudos houve variações entre as quantidades de N testadas, variando de 0 (controle) até 1,000 kg/ha de N. Visando o melhor aproveitamento do N, em 41,2% dos estudos a dose de N foi fracionada em três aplicações, 8,8% em quatro aplicações e 8,8% em duas aplicações. Do total de estudos as doses de N foram aplicadas em dose única em apenas 8,8% dos estudos e em 32,4% das pesquisas o N foi fracionado em outras quantidades.

Tabela 2. Características dos estudos incluídos na revisão sistemática.

Referência	Tipo de solo	Espécie e cultivar	Con. Experimental	Fonte do N	Idioma de publicação	País
Martha Jr. et al., 2004	Eutrudoxo Candiúfalfico	<i>Pennisetum purpureum</i> *	Parcela	UR e SA	Inglês	Brasil
Odo et al., 2006	Latossolo Vermelho Distrófico típico	<i>Cynodon dactylon</i> cv. Coastcross	Parcela	UR e NA	Português	Brasil
Euclides et al., 2007	Latossolo Vermelho distrófico	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Pastejo	UR	Português	Brasil
Canto et al., 2009	Latossolo Vermelho distrófico	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	Pastejo	NA	Inglês	Brasil
Moreira et al., 2011	Latossolo vermelho-amarelo	<i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	Pastejo	Não consta	Português	Brasil
Ribeiro et al., 2011	Latossolo Vermelho Escuro	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	Pastejo	UR	Português	Brasil
Gimenes et al., 2011	Latossolo Vermelho distrófico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR e NA	Português	Brasil
Moraes et al., 2013	Argissolo	<i>Pennisetum purpureum</i> Schum*	Parcela	UR	Inglês	Brasil
Pinheiro et al., 2014	Latossolo Vermelho Escuro	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	Pastejo	UR e NA	Português	Brasil
Aguilar et al., 2016	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Cecato et al., 2017	Argisolo amarelo vermelho	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	Pastejo	80% UR e 20% SA	Inglês	Brasil
Delevatti et al., 2019	Latossolo	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Berça et al., 2019	Não consta	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil

Longhini et al., 2020	Latossolo Vermelho distrófico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Silva et al., 2020	Neossolo Quartzarênico Órtico típico	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Pastejo	SA	Inglês	Brasil
Raposo et al., 2020	Latossolo	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Nascimento et al., 2020	Latossolo Vermelho distroférico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Parcela	UR e SA	Inglês	Brasil
Gurgel et al., 2020	Latossolo Vermelho distrófico	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Homem et al., 2021	Latossolo	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Ongaratto et al., 2021	Latossolo Vermelho distrófico típico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	NA	Inglês	Brasil
Gurgel et al., 2021	Latossolo Vermelho distrófico	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Pastejo	UR	Inglês e Espanhol	Brasil
Bento et al., 2021	Latossolo Vermelho argiloso	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Parcela	NA	Inglês	Brasil
Corrêa et al., 2021a	Latossolo	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Parcela	UR, NA, SA	Inglês	Brasil
Castillo-Pérez et al., 2021	Typic Haplustand	<i>Cynodon nlemfuensis</i> *	Parcela	UR e UR + Nitrapirina	Inglês	Costa Rica
Núñez-Ramos et al., 2021	Não consta	<i>Cynodon dactylon</i> cv. bermuda	Pastejo	UR	Espanhol	República Dominicana
Guimarães et al., 2022	Latossolo Vermelho distrófico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Lima et al., 2022a	Latossolo Vermelho distrófico típico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	NA	Inglês	Brasil
Lima et al., 2022b	Latossolo Vermelho distrófico típico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	NA	Inglês	Brasil
Rodrigues et al., 2022	Latossolo	<i>Brachiaria brizantha</i> *	Parcela	UR	Inglês	Honduras

Euclides et al., 2022	Latossolo Vermelho Distrófico	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Santos et al., 2022	Latossolo Amarelo distrocoeso	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	UR	Inglês	Brasil
Cassimiro et al., 2023	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Parcela	UR, NA, UR + NBPT, UR + DUROMIDE	Inglês	Brasil
Meirelles et al., 2023	Argissolo Vermelho distrófico típico	<i>Brachiaria decumbens</i> *	Parcela	UR, NA, UR+NBPT	Inglês	Brasil
Ongaratto et al., 2023	Latossolo Vermelho distrófico típico	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Pastejo	NA	Inglês	Brasil

(*) A cultivar não foi apresentada no estudo. UR: ureia; NA: nitrato de amônio; SA: sulfato de amônio; Condi: condição. NBPT: N-(n-butil) triamida tiofosfórica .

Da amostra final dos estudos incluídos nessa RS (34), 16 deles apresentaram avaliações com animais, sendo que todos estes estudos foram realizados com bovinos. A população total de animais foi de 507 animais, onde 63,2% eram machos, e 31,6% fêmeas. Do total de 73,7% eram da raça Nelore e 26,3% animais cruzados (Tabela 3).

Tabela 3: Caracterização da população de animais dos estudos incluídos na RS.

Referência	N exp. total ⁽¹⁾	N animais testers ⁽²⁾	Sexo	Categoria	Peso inicial (kg)	Raça e/ou cruzamento
Euclides et al., 2007	NC	Quatro	M	Novilhos	Não consta	Nelore
Canto et al., 2009	NC	Três	M	Touros	300 kg	Nelore
Gimenes et al., 2011	48	Três	NC	NC	327 kg	Nelore
Ribeiro et al., 2011	NC	Três	M	Novilhos	210 kg	Nelore
Moreira et al., 2011	NC	Dois	M	Novilhos	Ano 1 :180 kg Ano 2: 217 kg	Holandês x Zebuino
Pinheiro et al., 2014	NC	Três	M	Novilhos	230 kg	Nelore
Aguilar et al., 2016	48	Dois	F	Novilhas	178,69 ± 26,67 kg	Nelore
Cecato et al., 2017	NC	Três	M	Novilhos	330 ± 3,82 kg.	Nelore x Red Angus
Delevatti et al., 2019	72	Seis	M	Touros	Ano 1: 352 ± 5 kg Ano 2: 334 ± 2 kg Ano 3: 315 ± 6 kg	Nelore
Silva et al., 2020	50	Quatro	M	Novilhos	173 ± 1,95 kg	Nelore
Ongaratto et al., 2021	48	Três	M	Touros	308 ± 20 kg	Nelore
Homem et al., 2021	NC	Dois	F	Novilhas	234 ±36 kg	Nelore
Gurgel et al., 2021	54	NC	M	Novilhos	205± 26 kg	Nelore
Santos et al., 2022	NC	Dois	F	Novilhas	244± 7 kg	Nelore
Euclides et al., 2022	54	Seis	M	Novilhos	285 ± 14 kg	½Senepol × ½Caracu ½Brahman × ½Angus.
Lima et al., 2022a	76	Quatro	M	Touros	273,7 ± 7,6 kg	Nelore

⁽¹⁾ Número de animais experimentais totais; ⁽²⁾ Número de animais testers por piquete. NC: não consta a informação.

Efeito da adubação nitrogenada sobre a produção, composição química da forragem e desempenho animal

Dos 34 estudos incluídos na amostra final desta RS, 16 apresentaram alguma variável de desempenho animal, tais como: taxa de lotação (TL), ganho médio diário (GMD) e ganho por área (GPA).

Em 15 desses estudos, além das medidas de desempenho animal, também foram avaliadas pelo menos uma variável relacionada a produção de forragem, tais como a massa de forragem (MF) e taxa de acúmulo de forragem (TAF). Em dez estudos, além das variáveis de desempenho animal e produção de forragem, também estavam disponíveis informações sobre a composição química da forragem, como proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) (Tabela 4).

Dois estudos, Delevatti et al., (2019) e Silva et al., (2020), apresentaram de forma integral as variáveis relacionadas à produção de forragem, composição química e desempenho animal. O estudo de Delevatti et al., (2019) foi conduzido em pastos de capim-marandu sob lotação contínua, enquanto o estudo Da Silva et al., (2020) foi realizado em pastos de capim-mombaça sob lotação intermitente.

Um estudo, Euclides et al., (2007) apresentou apenas duas variáveis de desempenho animal (TL e GMD), sem informações de produção de forragem e composição química. Entre as três variáveis de composição química da forragem, a PB foi avaliada em nove trabalhos, sendo eles: Moreira et al., (2011), Cecato et al., (2017), Pinheiro et al., (2014), Delevatti et al., (2019), Homem et al., (2021), Lima et al., (2022a), Da Silva et al., (2020), Euclides et al., (2022), Santos et al., (2022) e Gimenes et al., (2011). A FDN foi avaliada em oito estudos, Cecato et al., (2017), Pinheiro et al., (2014), Delevatti et al., (2019), Homem et al., (2021), Lima et al., (2022a), Silva et al., (2020) e Santos et al., (2022). A FDA foi avaliada em quatro estudos, Delevatti et al., (2019), Lima et al., (2022a), Silva et al., (2020) e Gimenes et al., (2011).

A única variável descrita em todos os estudos foi a TL (Tabela 3), seguida pela MF que foi apresentada em 13 dos 16 estudos, Moreira et al., (2011), Cecato et al., (2017), Ribeiro et al., (2011), Pinheiro et al., (2014), Canto et al., (2009), Delevatti et al., (2019), Ongaratto et al., (2021), Homem et al., (2021), Lima et al., (2022a), Aguiar et al., (2016), Silva et al., (2020), Gimenes et al., (2011), Santos et al., (2022) e Gurgel et al., (2021).

As variáveis com menores quantidades de informações foram a TAF e a FDA. Com relação a TAF, esta variável estava descrita em maior número nos estudos sob lotação rotativa e/ou intermitente (cinco estudos), Silva et al., (2020), Gimenes et al., (2011), Euclides et al.,

(2022), Santos et al., (2022) e Gurgel et al., (2021). Enquanto que nos estudos com lotação contínua apenas dois trabalhos descreveram tal variável, Delevatti et al., (2019) e Ongaratto et al., (2021).

Apesar de haver estudos com quatro gêneros e cinco espécies de forrageiras tropicais na amostra final dessa RS, os estudos que apresentaram dados de desempenho animal foram realizados com apenas dois gêneros, sendo o gênero *Brachiaria* e *Panicum* (Tabela 4). Em 43.75% dos estudos com dados de desempenho animal foram realizados com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, 31.25% dos estudos com *Panicum maximum* cv. Tanzânia, 18.75% *Panicum maximum* cv. Mombaça e 6.25% com *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk.

As doses de N testadas variaram em função dos gêneros das forrageiras estudadas. No gênero *Brachiaria* as doses de N variaram de 0 a 300 kg/ha de N. Enquanto que nos estudos com forrageiras do gênero *Panicum* as doses de N testadas variaram de 50 a 450 kg/ha de N.

Em 50% dos estudos as doses de N promoveram aumentos significativos na MF, bem como na TL e no GPA (Tabela 4). Enquanto que as variáveis ligadas a composição química da forragem e o GMD dos animais sofreram menos variações em função do aumento nas doses de N.

Tabela 4. Variáveis de produção de forragem, composição química e medidas de desempenho animal de 16 estudos com forrageiras tropicais adubadas com N.

Referência	Espécie e cultivar	Meta de manejo do pastejo	Dose de N (Kg/ha de N)	Produção de forragem		Composição química			Medidas de desempenho		
				MF (Kg/ha de MS)	TAF (Kg/ha/dia)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	TL (UA/ha)	GMD (Kg/animal/dia)	GPA (Kg/ha/PV)
<i>Lotação contínua</i>											
Moreira et al. 2011	<i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	20 cm	75	6782,1	-	9,90	-	-	3,60	0,485	404,2
			150	7336,7	-	11,40	-	-	4,19	-	515,4
			225	7891,4	-	13,00	-	-	4,70	-	626,6
			300	8446,0	-	14,50	-	-	5,30	0,610	737,8
Cecato et al. 2017	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	50 cm	50	14,178	-	6,85	76,44	-	4,00	0,990	653,0
			100	11,995	-	7,29	75,63	-	3,70	1,150	675,0
			200	14,263	-	7,57	76,00	-	5,00	1,030	723,0
			400	13,685	-	8,58	74,23	-	6,60	1,100	813,0
Ribeiro et al. 2011	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	40-45 cm	75	2291,0	-	-	-	-	1,89	0,670	-
			150	2291,0	-	-	-	-	2,42	0,710	-
			225	2803,0	-	-	-	-	2,55	0,730	-
Pinheiro et al. 2014	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	40-45 cm	75	4764,0	-	12,69	74,00	-	2,33	0,860	456,76
			150	5244,0	-	13,39	72,75	-	2,62	0,780	473,48
			225	6702,0	-	13,95	71,75	-	3,10	0,840	607,24

Canto et al. 2009	<i>Panicum maximum</i> cv. Tanzânia	60 cm	100	6600,0	-	-	-	-	3,23	0,770	436,73
			200	8100,0	-	-	-	-	4,52	0,700	595,73
			300	8237,0	-	-	-	-	5,81	0,730	754,73
			400	9670,0	-	-	-	-	7,10	0,710	913,73
Delevatti et al. 2019	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	25 cm	0	5798,0	31,36	11,36	60,62	29,81	3,37	0,939	514,00
			90	6345,0	51,26	13,55	58,60	28,73	4,64	0,985	769,00
			180	6436,0	71,16	15,09	56,40	27,87	5,81	0,879	848,00
			270	6499,0	91,06	16,76	55,90	27,62	6,55	0,898	967,00
Ongaratto et al. 2021	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	25 cm	0	5150,0	76,10	-	-	-	1,90	-	-
			75	5500,0	117,10	-	-	-	2,80	-	-
			150	5550,0	104,80	-	-	-	3,80	-	-
Homem et al. 2021	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	20-25 cm	0	3397,7	-	9,10	61,09	-	2,30*	0,544*	106*
			150	5523,5	-	13,08	58,00	-	3,80*	0,636*	219*
Lima et al. 2022a	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	25 cm	0	4600,0	-	11,0	47,80	21,50	1,78	0,710	111
			75	5300,0	-	14,7	48,90	19,90	3,07	0,850	213
			150	5000,0	-	17,3	47,50	21,60	3,68	0,930	289
Aguilar et al. 2016	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	Não informado	0	3224,5	-	-	-	-	1,55	0,245	-
			50	3787,0	-	-	-	-	2,85	0,446	-
			100	3860,5	-	-	-	-	3,00	0,410	-
			150	4281,0	-	-	-	-	3,00	0,449	-

Lotação intermitente /Rotativa											
Da Silva et al. 2020	<i>Panicum</i>	Dias fixos	150	6767,5	188,4	12,89	71,00	35,87	5,47	0,420	587,21
	<i>maximum</i>		300	7204,7	211,7	19,25	68,70	35,69	6,36	0,510	799,24
	cv. Mombaça		450	8068,2	254,7	20,41	67,51	33,20	7,48	0,485	909,61
Gimenes et al. 2011	<i>Brachiaria</i>	25 e 35 cm	50	-	29,1	-	64,47	33,41	2,55	-	630,00
	<i>brizantha</i>		200	-	51,9	-	61,72	32,99	3,44	-	720,00
	cv. Marandu										
Euclides et al. 2022	<i>Panicum</i>	80 a 90 cm	100	-	41,1	10,80	-	-	3,0	-	-
	<i>maximum</i>		200	-	55,1	11,50	-	-	3,7	-	-
	cv. Mombaça		300	-	69,1	12,20	-	-	4,4	-	-
Santos et al. 2022	<i>Brachiaria</i>	Dias fixos	0	1483,0	12,5	8,77	66,90	-	2,23	0,404	-
	<i>brizantha</i>		150	2082,0	22,2	9,79	65,70	-	3,21	0,461	-
	cv. Marandu										
Gurgel et al. 2021	<i>Panicum</i>	Dias fixos	100	3371,8	26,7	-	-	-	2,70	-	466,70
	<i>maximum</i>		200	3637,6	36,3	-	-	-	3,10	-	535,90
	cv. Mombaça		300	3853,9	43,4	-	-	-	4,00	-	691,50
Euclides et al. 2007	<i>Panicum</i>	Dias fixos	50	-	-	-	-	-	2,00	0,430	-
	<i>maximum</i>		100	-	-	-	-	-	2,30	0,455	-
	cv. Mombaça										

MF: Massa de forragem; TAF: Taxa de acúmulo diário de forragem; MS: Matéria seca; UA: Unidade animal; PB: Proteína bruta; FDN: Fibra em detergente neutro; FDA: Fibra em detergente ácido; Número entre parênteses corresponde a legenda dos estudos no texto; (*) no estudo de Homem et al. (2021) a unidade animal foi considerada como a de um animal de 500 kg de peso vivo.

Efeito do nitrogênio sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE)

Emissões indiretas

Volatilização de NH₃

Do total de estudos da RS, nove trabalhos verificaram os efeitos da adubação nitrogenada sobre a volatilização de NH₃ em pastagens tropicais, entretanto seis trabalhos estavam ligados a perda de N por NH₃ em função da adubação nitrogenada, sendo eles, Martha Jr. et al., (2004), Moraes et al., (2013), Corrêa et al., (2021a), Cassimiro et al., (2023), Castillo-Pérez et al., (2021) e Meirelles et al., (2023), (Tabela 5). E três estudos, Longhini et al., (2020), Guimarães et al., (2022) e Ongaratto et al., (2023), os autores verificaram as perdas de N por NH₃, através das excretas de animais em pastagens tropicais fertilizadas com N (Tabela 6).

Destes estudos 55% foram realizados em pastagens de *Brachiaria brizantha*, 22.22% em *Pennisetum purpurem* e 11.11% em *Cynodon* e *Brachiaria decumbens*, respectivamente. Dos seis estudos avaliando apenas as perdas de N por NH₃ sem o efeito das excretas, todos foram realizados em parcelas. Enquanto que os três estudos avaliando as perdas de N por NH₃ através das excretas foram realizados em experimentos sob pastejo.

A técnica de quantificação da perda de N por NH₃ mais utilizada foi a de câmaras semiabertas, onde a metodologia mais empregada nos estudos foi a descrita por Araújo et al., (2009). Com relação as fontes de N estudadas, a UR foi a fonte mais frequente nas pesquisas, sendo testada unicamente ou associada com moléculas inibidoras da perda de N.

As doses avaliadas nesses estudos variaram de 0 a 270 kg/ha de N. O fracionamento das doses de N foi outro fator importante nessas pesquisas, alguns estudos como o de Corrêa et al., (2021a), Cassimiro et al., (2023) e Meirelles et al., (2023) avaliaram as perdas de N, em função do parcelamento da dose completa de N associada as fontes de N testadas, a dose mínima de N aplicada foi de 20 kg/ha de N e a maior 50 kg/ha de N.

Nos estudos avaliando as perdas de N por NH₃ pelas excretas dos animais em pastos adubados com N, apenas o estudo de Guimarães et al., (2022), verificou aumento na emissão de NH₃, pelas excretas em pastos de capim-marandu adubado com 150 kg/ha de N. No estudo de Ongaratto et al., (2023) utilizou-se como fonte de N o NA as emissões de NH₃ das excretas foram menores na dose 150 kg/ha de N, em comparação a dose controle.

Nos estudos de Martha Jr. et al., (2004), Castillo-Pérez et al., (2021), Corrêa et al., (2021), Cassimiro et al., (2023), Meirelles et al., (2023) (Tabela 5), a fonte de N que apresentou as maiores perdas de N por NH₃ foi a UR, mesmo quando a dose completa foi aplicada fracionada. Em três estudos a UR foi testada associada a moléculas inibidoras da perda de N, sendo eles Castillo-Pérez et al., (2021), Cassimiro et al., (2023) e Meirelles et al., (2023) dois

deles verificaram redução na perda de N por NH_3 , com destaque para os tratamentos de UR+NBPT, no estudo de Meirelles et al., (2023), (UR + Duromide) no estudo de Cassimiro et al., (2023).

Tabela 5. Volatilização de NH_3 em pastagens tropicais adubadas com N.

Referência	Fonte do N	Dose de N (Kg/ha de N)	Fracionamento do N (Kg/ha de N)	Volatilização de NH_3
Martha Jr. et al. 2004	UR	100	DU	44,6 kg/ha de NH_3
	SA	136	DU	45 kg/ha de NH_3
	SA	100	DU	12 kg/ha de NH_3
Moraes et al. 2013	UR	80	DU	47 kg/ha de NH_3
		100	DU	42 kg/ha de NH_3
		80	DU	36 kg/ha de NH_3
Corrêa et al. 2021a	UR	90	DU e 30 Kg/ha de N	13,9% (SF); 6,3% (F)
		180	DU e 60 Kg/ha de N	24,4 % (SF); 10,9% (F)
		270	DU e 90 Kg/ha de N	44,6% (SF); 24,1% (F)
	NA	90	DU e 30 Kg/ha de N	2,02 % (SF); 1,05 % (F)
		180	DU e 60 Kg/ha de N	3,17% (SF); 2,58 % (F)
		270	DU e 90 Kg/ha de N	7,71% (SF); 5,67 % (F)
	SA	90	DU e 30 Kg/ha de N	2,22% (SF); 0,78 % (F)
		180	DU e 60 Kg/ha de N	3,1 % (SF); 1,88 % (F)
		270	DU e 90 Kg/ha de N	5,27 % (SF); 3,65 % (F)
Cassimiro et al. 2023	UR	100	25 Kg/ha de N	5,49 kg/ha de NH_3
	UR	200	50 Kg/ha de N	10,66 kg/ha de NH_3
	UR +NBPT	100	25 kg de N/ha	2,48 kg/ha de NH_3
	UR +NBPT	200	50 kg de N/ha	3,76 kg/ha de NH_3
	UR + Duromide	100	25 kg de N/ha	1,93 kg/ha de NH_3
	UR+ Duromide	200	50 kg de N/ha	2,59 kg/ha de NH_3
	NA	100	25 kg de N/ha	1,22 kg/ha de NH_3
	NA	200	50 kg de N/ha	1,43 kg/ha de NH_3
Castillo-Pérez et al. 2021	C	0	-	6,28 kg/ha de NH_3
	UR	250	41,7 Kg/ha de N	12,30 kg/ha de NH_3
	UR + Nitrapirina	250	41,7 Kg/ha de N	13,51 kg/ha de NH_3
Meirelles et al. 2023	UR + NBPT	100	20 Kg/ha de N	12,40 kg/ha de NH_3
	UR + NBPT	200	40 Kg/ha de N	17,80 kg/ha de NH_3
	NA	100	20 Kg/ha de N	7,50 kg/ha de NH_3
	NA	200	40 Kg/ha de N	9,20 kg/ha de NH_3
	UR	100	20 Kg/ha de N	17,40 kg/ha de NH_3
	UR	200	40 Kg/ha de N	33,70 kg/ha de NH_3

UR: ureia; NA: nitrato de amônio; SA: sulfato de amônio; C: controle; DU: dose única; SF: sem fracionamento; F: dose fracionada; NBPT: N-(n-butil) triamida tiofosfórica.

Tabela 6. Volatilização de NH_3 (% de N emitido por NH_3) pelas excretas de bovinos em pastagens tropicais adubadas com N.

Referência	Fonte de N (Kg/ha de N)	Fracionamento do N (Kg/ha de N)	Excretas	Dose de N (Kg/ha de N)	
Longhini et al. 2020	UR	50 Kg/ha de N		0	150
			Fezes	1,60	2,60
			Urina	10,70	13,80
Guimarães et al. 2022	UR	50 Kg/ha de N		0	150
			Fezes	0,52	4,70
			Urina	1,02	12,61
Ongaratto et al. 2023	NA	50 Kg/ha de N		0	150
			Fezes	6,75	2,28
			Urina	14,1	3,27

UR: ureia; NA: nitrato de amônio.

Emissões diretas

Emissões de N_2O

As emissões de N_2O foram avaliadas em oito estudos, destes cinco foram experimentos em parcelas e três experimentos sob pastejo (Tabela 7). Destes 62.5% foram realizados com forrageiras do gênero *Brachiaria*, 25% com forrageiras do gênero *Cynodon* e 12.5% com forrageiras do gênero *Pennisetum*.

A principal técnica de coleta do N_2O foi por meio de câmaras estáticas fechadas, realizada na maior parte dos estudos através da metodologia descrita por Mosier & Heinemeyer (1985). Nesses estudos a UR foi a fonte de N mais pesquisada, sendo avaliada em seis estudos. As doses de N variaram de 0 até 270 kg/ha de N.

Dois estudos, Moraes et al., (2013) e Bento et al., (2021), avaliaram além do efeito da adubação nitrogenada, a influência do preparo do solo para a implantação das pastagens. Nestes estudos as doses de N foram aplicadas completas (sem fracionamento). Observa-se pelos resultados dos oito estudos que há aumentos nas emissões de N_2O com o aumento nas doses de N aplicadas (Tabela 7).

Tabela 7. Emissões de N₂O em pastagens tropicais adubadas com N.

Referência	Fonte de N	Dose de N (Kg/ha de N)	Fracionamento do N (Kg/ha de N)	Emissão de N ₂ O
Morais et al. 2013	UR	80	DU	436 g/ha de N
		100	DU	572 g/ha de N
		80	DU	1,468 g/ha de N
Bento et al. 2021	C	0	-	0,20 mg m ⁻² dia ⁻¹
	NA	60	DU	1,13 mg m ⁻² dia ⁻¹
Nascimento et al. 2020	C	0	-	8,39 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
	UR	40	DU	16,40 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
	UR	80	DU	36,52 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
	SA	40	DU	14,45 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
	SA	80	DU	21,67 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
Guimarães et al. 2022	C	0	-	14,3 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
	UR	150	50 Kg/ha de N	51,9 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
Raposo et al. 2020	UR	0	-	-5,99 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
		90	30 Kg/ha de N	36,14 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
		180	60 Kg/ha de N	49,53 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
		270	90 Kg/ha de N	185,69 µg N-N ₂ O m ⁻² hr ⁻¹
Núñez-Ramos et al. 2021	C	0	-	5,60 kg/ha de N
	UR	218	DU	11,80 kg/ha de N
Rodrigues et al. 2022	C	0	-	0,27 mg de N ₂ O m ⁻² h ⁻¹
	UR	59,47	DU	0,37 mg de N ₂ O m ⁻² h ⁻¹
Castillo-Pérez et al. 2021	C	0	-	1,12 Kg/ha de N.
	UR	250	41,7 Kg/ha de N	2,51 Kg/ha de N
	UR+Nitrapirina	250	41,7 Kg/ha de N	3,51 Kg/ha de N

UR: ureia; C: controle; NA: nitrato de amônio; SA: sulfato de amônio; DU: dose única.

Emissões de CO₂ e CH₄

As emissões de CO₂ foram avaliadas em dois estudos, Raposo et al., (2020) e Bento et al., (2021), enquanto as emissões de CH₄ do solo foram analisadas apenas no estudo de Raposo et al., (2020) (Tabela 8). Contudo, o estudo de Raposo et al., (2020) avaliou ambos os gases. Os estudos de Raposo et al., (2020) e Bento et al., (2021) foram realizados em pastos de *Brachiaria brizantha* cv Marandu.

As fontes de N testadas entre os estudos foram NA Bento et al., (2021) e UR Raposo et al., (2020). As doses variaram entre 0 e 270 kg/ha de N. O fracionamento da dose de N, foi realiza apenas no trabalho de Raposo et al., (2020). Como mencionado no tópico das emissões por N₂O, o estudo de Bento et al., (2021) verificou o avaliaram efeito da adubação nitrogenada associada ao preparo do solo sobre nas emissões de CO₂ em pastagens tropicais. A técnica de coleta dos gases foi através de câmaras cilíndricas, conforme metodologia descrita por Davidson et al., (2002).

No estudo de Raposo et al., (2020), houve aumento nas emissões de CO₂ entre a dose controle e as demais doses de N (resposta cúbica). Entretanto, para CH₄, com o aumento nas doses de N, houve redução no CH₄ emitido. As emissões cumulativas de CO₂ no estudo de Bento et al., (2021) foram semelhantes entre os tratamentos 0 e 60 kg/ha de N (Tabela 8).

Tabela 8. Emissões de CO₂ e CH₄ em pastagens tropicais adubadas com N.

Referência	Fonte do N	Dose de N (Kg/ha de N)	Fracionamento do N (Kg/ha de N)	Emissões de CO ₂
Raposo et al. 2020	C	0	-	7,19 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
	UR	90	30 Kg/ha de N	8,36 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
		180	60 Kg/ha de N	7,77 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
		270	90 Kg/ha de N	8,05 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Bento et al. 2021	C	0	-	15,70 Mg CO ₂ /ha/ano
	NA	60	DU	19,63 Mg CO ₂ /ha/ano
Raposo et al. 2020				CH ₄
	C	0	-	61,61 $\mu\text{g CH}_4 \text{ }^{-1}\text{C/m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
	UR	90	30 Kg/ha de N	24,66 $\mu\text{g CH}_4 \text{ }^{-1}\text{C/m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
		180	60 Kg/ha de N	22,10 $\mu\text{g CH}_4 \text{ }^{-1}\text{C/m}^{-2} \text{ h}^{-1}$
		270	90 Kg/ha de N	24,39 $\mu\text{g CH}_4 \text{ }^{-1}\text{C/m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

UR: ureia; C: controle; NA: Nitrato de amônio; DU: dose única.

Emissões de CH₄ entérico

As emissões de CH₄ entérico foram avaliadas em dois estudos, Berça et al., (2019) e Lima et al., (2022a) (Tabela 9), sendo realizados com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. As doses de N variaram de 0 a 150 kg/ha de N, entretanto no estudo de Berça et al., (2019) a fonte foi UR e no estudo de Lima et al., (2022a) a fonte de N foi o NA.

As categorias animais avaliadas entre os estudos foram diferentes, no estudo de Berça et al., (2019), as emissões de CH₄ entérico foram estimadas utilizando novilhas, enquanto que no estudo de Lima et al., (2022a), utilizou-se touros. A técnica utilizada para a avaliação dos gases foi a do gás traçador SF₆.

As variáveis semelhantes avaliadas entre os estudos foram: CH₄ g/por animal/dia, CH₄ g/kg de MS e a taxa de conversão de CH₄ (Ym %). Independente dos estudos nenhuma das variáveis analisadas apresentou efeito significativo em função das doses e ou fontes de N estudadas (Tabela 9).

Tabela 9. Emissões de CH₄ entérico de bovinos mantidos em pastagens tropicais adubadas com N.

Referência	Fonte de N	Dose de N (Kg/ha de N)	Fracionamento do N (Kg/ha de N)	Emissão de CH ₄		
				CH ₄ g/por animal/dia	CH ₄ g/kg de MS	Ym (%)
Berça et al. 2019	C	0	-	115	16,4	4,99
	UR	150	50 Kg/ha de N	140	16,2	4,94
Lima et al. 2022	C	0	-	141,2	19,1	6,2
	NA	75	25 Kg/ha de N	173,3	21,7	6,9
	NA	150	50 Kg/ha de N	179,6	22,5	7,1

MS: Matéria seca; Ym (%): taxa de conversão de metano (perda de energia do metano em relação à ingestão bruta de energia); UR: ureia; C: controle; NA: Nitrato de amônio.

Teores de N e C

Os teores de N do perfil do solo foram avaliados em dois trabalhos, Odo et al., (2006) e Gurgel et al., (2020). Sendo que no trabalho de Odo et al., (2006), as doses de N variaram de 0 a 1.000 kg de N/ha, realizado em *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob parcelas. Nesse estudo verificou-se as perdas de N em função das fontes (UR e NA) e doses, as doses completas foram fracionadas em cinco aplicações. Em ambos os estudos o monitoramento nos teores de N foi avaliado por meio de análises de solo.

No estudo de Gurgel et al., (2020), avaliou-se o efeito residual de três doses de N (100, 200 e 300 kg/ha de N) em pastos de *Panicum maximum* cv. Mombaça, sobre os teores de

carbono (C) e N no solo. Os teores totais de C foram semelhantes em função das doses residuais de N, sendo 130,8, 135,5 e 136,7 mg/ha, respectivamente. Os teores médios de N aumentaram em função do incremento nas doses de N (Tabela 10).

No estudo de Odo et al., (2006) avaliou-se a lixiviação de N ao longo do perfil do solo, os resultados demonstram que pastagens adubadas com UR apresentam menores teores de N em profundidade, quando comparadas a pastagens recebendo NA, tais resultados indicam perda de N por lixiviação (Tabela 10).

Tabela 10. Teores de N no perfil do solo em pastagens tropicais adubadas com N.

Referência	Fonte do N	Dose do N (Kg/ha de N)	Fracionamento do N (Kg/ha de N)	Profundidade (cm)	Teores de N
Odo et al. 2006	C	0	-	0-40	9,3 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		0	-	40-80	3,3 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		0	-	80-200	12,5 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
	UR	250	50 Kg/ha de N	0-40	11,6 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		250	50 Kg/ha de N	40-80	6,4 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		250	50 Kg/ha de N	80-200	12,4 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		1000	200 Kg/ha de N	0-40	28,1 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		1000	200 Kg/ha de N	40-80	9,4 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		1000	200 Kg/ha de N	80-200	9,0 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
	NA	250	50 Kg/ha de N	0-40	2,8 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		250	50 Kg/ha de N	40-80	2,3 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		250	50 Kg/ha de N	80-200	7,9 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		1000	200 Kg/ha de N	0-40	96,2 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		1000	200 Kg/ha de N	40-80	68,2 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
		1000	200 Kg/ha de N	80-200	60,5 Kg/ha de N-NO ₃ ⁻
Gurgel et al. 2020	UR	100			1,5 mg/ha
		200	**	*	1,6 mg/ha
		300			1,7 mg/ha

(*) Média do estoque até 100 cm; **efeito residual das doses de N. C: controle; UR: ureia; NA: Nitrato de amônio.

Intensidade de emissão

A intensidade de emissão dos GEE relacionada ao efeito da adubação nitrogenada em pastagens tropicais foi avaliada no estudo de Lima et al., (2022b). A intensidade de emissão dos GEE é uma medida que relaciona a quantidade de emissões dos principais GEE com uma unidade de área ou de produção (carne, leite e outros).

Neste estudo, construiu-se um inventário de ciclo de vida das emissões de GEE resultantes da atividade animal (CH₄ entérico e N₂O solo e urina e CH₄ do esterco).

O inventário utilizou as informações do estudo Lima et al., (2022a), ou seja, as duas pesquisas utilizaram dados do mesmo estudo e área experimental, com abordagens diferentes sobre os mesmos resultados.

O estudo de Lima et al., (2022b) avaliou a emissão de GEE (CO_2 eq kg de carcaça⁻¹) em três sistemas com diferentes níveis de adubação nitrogenada em pastos de capim-marandu (0, 75 e 150 kg/ha de N, na forma de NA). Os resultados mostraram que a intensidade de emissão foi similar entre pastagens controle (0 N) e a pastagem com 75 kg de N/ha, mas o tratamento de 150 kg/ha de N apresentou a maior intensidade de emissão quando comparado com o tratamento controle, as intensidades de emissão foram: 5,87, 7,32 e 8,35 kg CO_2 eq/ kg carcaça⁻¹, respectivamente.

DISCUSSÃO

Considerando a quantidade de estudos publicados nos últimos cinco anos, observa-se que o impacto da utilização do N é um tema recorrente nas pesquisas com forrageiras tropicais, tanto no Brasil quanto em outros países da América Central. Bem como revela a preocupação em quantificar o impacto ambiental da atividade pecuária em pastagens tropicais (Cardoso et al., 2019; Sarabia-Salgado et al., 2023; Bastidas et al., 2024).

Apesar da ampla variabilidade das durações experimentais os trabalhos que apresentaram medidas de desempenho animal, 64,28% foram realizados em um período superior a 24 meses. Usualmente as pesquisas com adubação nitrogenada tem a duração de 24 meses ou mais, a fim de verificar o efeito da adubação em no mínimo duas estações chuvosas (Almeida et al., 2023; Almeida et al., 2024).

Entre os estudos incluídos nesta revisão foi possível observar que 58,3% utilizaram o método de pastejo de lotação contínua. Resultado semelhante ao encontrado por Costa et al., (2022), os quais verificaram que 53,5% dos estudos em experimentos sob pastejo são realizados sob lotação contínua. Tal método de pastejo se caracteriza por ofertar aos animais acesso irrestrito e ininterrupto durante um período determinado, sem rotatividade entre áreas ou descanso da pastagem (Allen et al., 2011).

A ferramenta de manejo do pastejo mais utilizada foi a altura, sobretudo nos experimentos sob lotação contínua. Para Hodgson (1990), a altura do dossel (AD) é uma das variáveis que apresenta correlação com a produção de forragem e a interceptação de luz (IL). Sob lotação intermitente os protocolos experimentais atuais sugerem que a interrupção do processo de rebrotação deve ocorrer quando o dossel intercepta 95% da luz incidente (altura de entrada), nessa condição há equilíbrio entre o crescimento e senescência das plantas (Carnevali

et al., 2006; Barbosa et al., 2007; Pedreira et al., 2009). Em lotação contínua, a AD é mantida fixa em função da altura recomendada para a espécie e/ou cultivar, sendo um indicador para aumento ou redução na taxa de lotação dos pastos (Pinto et al., 2001; Santos et al., 2011).

Forrageiras do gênero *Brachiaria* foram as mais estudadas independentemente da condição experimental, sobretudo no Brasil. Tal fato pode ser explicado pela representatividade do uso das forrageiras desse gênero no país, estima-se que mais de 99 milhões de hectares de pastagens sejam formados com *Brachiaria* spp. com destaque para a cultivar marandu, que ocupa 85% desse contingente de áreas (Jank et al., 2014; Poppi et al., 2018).

A faixa de utilização das doses de N testadas em forrageiras do gênero *Brachiaria* foram menores em comparação as testadas em forrageiras do gênero *Panicum*. Para *Brachiaria* as doses variaram de 0 a 300 kg/ha de N, enquanto que para *Panicum* as doses foram de 50 a 450 kg/ha de N. As menores doses de N estudadas em forrageiras do gênero *Brachiaria* pode ser explicado pois algumas forrageiras do gênero, tais como o capim-marandu e o capim-basilisk são amplamente utilizadas em sistemas extensivos ou com baixo nível tecnológico (Moreira et al., 2011; Aguilar et al., 2016). Em função de serem adaptadas a solos de média a baixa fertilidade e possuírem maior facilidade de manejo, quando comparadas a forrageiras de outros gêneros (Jank et al., 2017).

O fato da menor dose de N nos estudos com forrageiras do gênero *Panicum* não ter sido 0 kg/ha de N, mas 50 kg/ha de N pode estar associado a maior exigência em fertilidade do solo pelas plantas forrageiras desse gênero (Bublitz et al., 2024). Para Domiciano et al., (2021), doses de 0 a 50 kg/ha de N não são suficientes para otimizar as respostas produtivas das forrageiras de *Panicum maximum*. As recomendações de adubação nitrogenada em forrageiras dessa espécie são da ordem de 100 a 150 kg/ha de N/ano (Galindo et al., 2017; Oliveira et al., 2020). A maioria das forrageiras da espécie *Panicum maximum* são altamente responsivas a adubação nitrogenada, apresentam alto rendimento, e, sendo manejadas de forma adequada, apresentam bom valor nutritivo (Oliveira et al., 2020), condição que favorece a intensificação das pastagens através da adubação (Almeida et al., 2024).

A utilização de doses elevadas de N nas pastagens exige o monitoramento e a reposição dos demais nutrientes do solo, principalmente fósforo (P) e potássio (K) (Primavesi et al., 2006; Almeida et al., 2023). Tal prática auxilia a estabilidade e manutenção da produção de forragem ao longo dos anos, a redução da susceptibilidade dos pastos a degradação, bem como sua perenidade (Macedo, 2005). Por outro lado, em sistemas extensivos, onde não ocorrem as práticas de correção e adubação pós implantação, a perenidade dos pastos é comprometida,

fazendo com que em um curto período de tempo após a implantação da forrageira na área iniciem-se os sinais de degradação (Fonte et al., 2014; Nesper et al., 2015).

Os dados da maioria dos estudos com desempenho animal, especialmente os realizados sob lotação contínua, indicam que o aumento na massa de forragem, proporcionado pelo incremento das doses N, eleva a capacidade de suporte dos pastos, refletindo em maiores taxas de lotação (Canto et al., 2009; Moreira et al., 2011; Pinheiro et al., 2014; Cecato et al. 2017; Delevatti et al., 2019; Lima et al., 2022a). Essa condição, ao aumentar a quantidade de animais na área, potencializa o ganho por unidade de área sem afetar significativamente o GMD dos animais (Sales et al., 2020). Existe uma relação entre a TL e GMD, onde é impraticável conciliar o ganho máximo por animal com o ganho máximo por área. Isso ocorre porque à medida que o número de animais por área (TL) aumenta, na tentativa de aumentar o GPA, o fornecimento de forragem por animal diminui, consequentemente, reduzindo o GMD (Mott, 1960).

A UR foi o fertilizante nitrogenado mais utilizado nas pesquisas, fato que pode ser explicado pelo menor custo por kg de N em comparação com as demais fontes (Cardoso et al., 2020; Longhini et al., 2024). Entretanto, a UR apresenta as maiores perdas de N por volatilização na forma de NH_3 , enquanto o SA apresenta as menores, o que repercute no maior custo por kg de N aplicado (Nascimento et al., 2020).

A estratégia de aplicação fracionada da dose completa de N, demonstra-se ser uma estratégia eficaz para a redução das emissões de NH_3 e N_2O (Nascimento et al., 2020; Cassimiro et al., 2023; Meirelles et al., 2023). Essa prática consiste em dividir a dose total de N em várias aplicações menores ao longo da estação chuvosa, o que minimiza a quantidade de N disponível para processos microbianos no solo que levam à formação dos gases. Além da redução nas emissões nos GEE (Corrêa et al., 2021b), o fracionamento do N permite que a planta utilize a menor dose de forma mais eficiente (Sales et al., 2020; Bastidas et al., 2024).

Os resultados compilados dos estudos demonstram que as maiores reduções nas perdas de N por volatilização de NH_3 , ocorreram quando a fonte de N utilizada foi a UR e em situações onde a dose completa de N foi fracionada em doses entre 20 a 60 kg/ha de N (Corrêa et al., 2021a; Cassimiro et al., 2023; Meirelles et al., 2023). Tal condição, reforça o fato de que seja imprescindível que altas doses de N aplicadas anualmente em pastos tropicais na forma de UR, sejam fracionadas a fim de potencializar o uso do nutriente. Além disso, tal operação tem sido apontada como uma das principais estratégias para mitigação das emissões de GEE em pastagens tropicais adubadas com N (Corrêa et al., 2021b; Bastidas et al., 2024).

O NH_3 volatilizado contribui indiretamente para a emissão de N_2O , portanto, a quantificação adequada é essencial para identificar quais as fontes e doses de N que apresentam

as menores perdas por NH_3 (Cardoso et al., 2020). Além desses dois aspectos, o momento da aplicação do N na pastagem é um dos principais fatores que determinará a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado. Longhini et al., (2024), recomendam que adubos a base de UR, sejam aplicados durante a estação chuvosa, sob condição de solo seco, seguido de chuva ou irrigação, a fim de permitir a infiltração de N no solo e assim reduzir as perdas por volatilização. Se aplicada sob condição de alta umidade do solo e elevada umidade do ar, as perdas por NH_3 podem ser elevadas, dada a alta higroscopicidade da UR.

A escolha da fonte de N a ser utilizada no sistema também pode influenciar as perdas do nutriente e as emissões (Luo et al., 2010; Chagas et al., 2017; Corrêa et al., (2021b). Nascimento et al., (2020) ao analisarem as emissões de N_2O em capim-marandu utilizando duas fontes de N, verificaram que a aplicação de 80 kg/ha de N usando UR resulta em maiores fluxos de N_2O no solo, bem como um maior fator de emissão do que a aplicação de 80 kg/ha de N usando SA.

Apenas o estudo de Raposo et al., (2020), avaliou as emissões de CH_4 do solo em pastagens adubadas com N. Apesar disso os resultados obtidos pelo estudo demonstram que as doses de N estimulam o consumo de CH_4 pelos microrganismos do solo. Entretanto, os resultados de pesquisa variam quanto as emissões de CH_4 sob o contexto da adubação nitrogenada (Yue et al., 2016). Os fluxos de CH_4 são afetados principalmente pelas condições climáticas, tais como precipitação e temperatura (Cardoso et al., 2022).

As emissões de CO_2 do solo, verificadas sob o contexto da adubação nitrogenada e em relação ao preparo do solo no estudo de Bento et al., (2021) verificaram que os dois fatores afetam as emissões. O preparo do solo causa perturbação que podem induzir a ruptura dos agregados do solo, resultando na exposição e decomposição da matéria orgânica protegida do solo por microrganismos, liberando o carbono orgânico, solo para a atmosfera, assim diminuindo a qualidade do solo (Carmo et al., 2007).

O aumento das emissões de CO_2 do solo avaliado somente sobre o contexto da adubação nitrogenada avaliado no estudo de Raposo et al., (2020), indica que as maiores emissões desse gás podem estar relacionadas à produção de CO_2 pela respiração radicular e microbiana. Picos de CO_2 são observados nas estações de chuvosas após as aplicações de N, e a respiração diminui com o tempo, à medida que o nutriente é consumido pelas raízes das plantas e microrganismos (Luo et al., 2016).

Apesar de não ter ocorrido aumento nos estoques de C no solo, no estudo de Gurgel et al., (2020), em função do efeito residual das doses de N, estes foram elevados. Os autores indicam que tal condição está associada não só ao manejo da adubação nitrogenada, mas

sobretudo a fatores como ajuste na taxa de lotação, controle na intensidade de pastejo, reposição adequada dos demais nutrientes e a manutenção da área foliar residual pós pastejo.

Quando a disponibilidade de N excede a capacidade de assimilação da planta, as perdas desse nutriente são favorecidas (Primavesi et al., 2006). Fato que pode justificar os maiores teores de N em profundidade no estudo de Odo et al., (2006). Nesse sentido, realizar as adubações conforme a exigência das plantas pode minimizar a perda do N, bem como reduzir o custo da operação (Gu et al., 2023).

As menores intensidades de emissão verificadas no estudo de Lima et al., (2022b) para os tratamentos 0 e 75 kg/ha de N, sugerem limites de utilização do N onde o impacto ambiental é reduzido mesmo com o aumento na taxa lotação, para forrageiras do gênero *Brachiaria*. De acordo com Bastidas et al., (2024) a utilização de doses mais baixas de N, especialmente em forrageiras de *Brachiaria* spp. podem aumentar a eficiência do uso do N, melhorar a utilização pela planta e potencialmente reduzir as emissões de NH_3 e N_2O .

Apesar dos trabalhos não terem encontrado redução na emissão individual de CH_4 entérico dos bovinos mantidos em pastagens adubadas com N, também não houve diferença estatística entre os tratamentos, o que indica, por exemplo, que tanto o tratamento controle quanto as maiores doses de N testadas são semelhantes quanto as emissões de CH_4 entérico. Entretanto, no estudo de Lima et al., (2022a), a taxa de lotação do tratamento de 150 kg/ha de N foi o dobro do tratamento controle (3,68 e 1,78 UA/ha). Assim o tratamento com a maior dose de N permite a maior produção de carne por área, o que pode contribuir para reduzir o ciclo de produção dos animais.

A emissão entérica de metano está associada ao consumo de matéria seca (CMS) e ao peso vivo dos animais, mas a composição da dieta interfere nessa relação (Beauchemin et al., 2008; Sakamoto et al., 2020). Nos dois estudos, o CMS foi semelhante entre os tratamentos. No estudo de Berça et al., (2019), o CMS entre os tratamentos 0 e 150 kg/ha de N, variou de 8,46 e 8,97, respectivamente. E no estudo de Lima et al., (2022a), o CMS nos tratamentos 0, 75 e 150 kg/ha de N, variaram de 7,80, 8,50 e 8,80, respectivamente. Para Buddle et al., (2011), o CMS é o mais importante modificador das emissões de metano em ruminantes, assim, a emissão de metano por unidade de MS ingerida pode aumentar ou diminuir de acordo com o nível de ingestão.

Alguns autores sugerem que o aumento no CMS pode aumentar as emissões individuais de CH_4 (Reynolds et al., 2010), no entanto em função de fornecer aos animais alimento de melhor qualidade (melhor digestibilidade, menor teor de FDN), a tendência é que esses produzam mais carne (Meo-filho et al., 2022), leite (Congio et al., 2018) e permaneçam menos

tempo no sistema de produção (Hristov et al., 2013). Reduzindo assim as emissões de CH₄ por unidade de área (Savidan et al., 2014), em gramas de CH₄ por gramas de carcaça e/ou em quilograma de CO₂ -eq. por quilograma de carcaça (Sakamoto et al., 2020; Meo-filho et al., 2022).

A taxa de conversão de CH₄ (YM) varia de 2,0% a 11,6%, tal variação está relacionada principalmente a composição da dieta e ao peso do animal (Johnson e Johnson, 1995). Nos dois estudos onde está variável foi avaliada, os valores de YM, foram semelhantes entre os tratamentos. No estudo de Lima et al., (2022a), os valores foram de 6,2, 6,9 e 7,1%, em função dos tratamentos 0, 75 e 150 kg/ha de N. Tais valores estão de acordo com a faixa proposta pelo IPCC (2006), que estabelece as perdas de energia para ruminantes em condições tropicais sejam de 6,5% a 7,5%. Entretanto, no estudo de Berça et al., (2019), o YM foi de 4,99 %, para o tratamento de 0 kg/ha de N e 4,94 % no tratamento de 150 kg/ha de N. Valores bem abaixo da faixa proposta pelo IPCC (2006).

LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista que o capim-marandu, pertencente ao gênero *Brachiaria*, é a planta forrageira tropical mais estudada nessa temática de pesquisa, torna-se necessário estudos com os demais gêneros de forrageiras tropicais utilizados nos sistemas produtivos, como por exemplo as forrageiras do gênero *Panicum*.

Para a realização de pesquisas dessa natureza a falta de padronização no uso da terminologia em forragicultura leva a necessidade do uso de muitos entretermos e grande parte deles utilizados como sinônimos. Fato que poderia ser evitado se os estudos seguissem uma terminologia padrão, como a proposta por Allen et al., (2011).

A limitação da quantidade de descritores nos cruzamentos em algumas bases de dados e bibliotecas virtuais, limita a quantidade de artigos recuperados nas buscas. Assim há a necessidade de ajustes frequentes nos cruzamentos, condição que dificulta a padronização dos cruzamentos.

Dados sobre estoques e/ou balanço de carbono em pastagens tropicais adubadas com nitrogênio são escassos na literatura, independente da condição experimental. Assim como pesquisas com outras espécies animais.

CONCLUSÃO

O uso de nitrogênio promove aumentos significativos na produção de forragem, resultando em melhorias nas taxas de lotação e no ganho individual dos animais, além de otimizar o ganho por unidade de área. O fracionamento da dose anual de N, é imprescindível quando a fonte de N for a UR, doses entre 20 a 60 kg/ha de N reduzem as perdas desse nutriente, aumentando a eficiência de utilização do fertilizante aplicado, sendo uma das principais estratégias que potencialmente auxiliam na mitigação do impacto ambiental em pastos tropicais. Além disso, a aplicação do fertilizante em doses alinhadas com a exigência das plantas, a escolha do momento de aplicação do N e a utilização de fontes menos voláteis são fundamentais para o aumento da eficiência de utilização do N e mitigação dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASS, K. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 28, p. 42539–42559, 1 jun. 2022.

ABREU, N. L. et al. Mudanças de uso da terra e emissão de gases de efeito estufa: uma explanação sobre os principais *drivers* de emissão. **Ciência Animal Brasileira**, v. 25, p. 77646E, 23 set. 2024.

AGUILAR, P. B. DE et al. Viabilidade econômica da produção de novilhas Nelore em pastos de *Urochloa brizantha* cv. Marandu diferidos e adubados com nitrogênio. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, p. 69–76, jan. 2016.

ALLEN, V. G. et al. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 1, p. 2–28, mar. 2011.

ALMEIDA, E. M. D. et al. Growth dynamics and nutrient uptake of *panicum maximum* under nitrogen fertilisation. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, 66(3), 244-258, 2023.

ALMEIDA, O. G. DE et al. Defoliation management and nitrogen fertiliser rate affect canopy structural traits of grazed guineagrass (*Megathyrsus maximus*) cv. Zuri under rotational stocking. **Crop and Pasture Science**, v. 74, n. 12, p. 1201–1209, 21 abr. 2023.

ALMEIDA, O. G. et al. Forage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency on rotationally stocked ‘Zuri’ guineagrass pastures as affected by pre-graze canopy height and N rate. **Grass and Forage Science**, v. 79, n. 2, p. 308–317, 2024.

ALMEIDA, O. G. et al. Forage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency on rotationally stocked ‘Zuri’ guineagrass pastures as affected by pre-graze canopy height and N rate. **Grass and Forage Science**, 79(2), 308-317, 2024.

ALVES, B. J. R. et al. Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 46, p. 129–135, 1 mar. 2012.

Barbosa R. A. et al. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42, 329-340, 2007.

BARKER, T. H. et al. (2023). The revised JBI critical appraisal tool for the assessment of risk of bias for randomized controlled trials. *JBI evidence synthesis*, 21(3), 494-506.

BASTIDAS, M. et al. Optimizing nitrogen use efficiency of six forage grasses to reduce nitrogen loss from intensification of tropical pastures. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 367, p. 108970, 15 jun. 2024.

BEAUCHEMIN, K. A., et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 48(2), 21-27, 2008.

BENTO, C. B. et al. Efeitos da conversão de pastagem extensiva para intensiva na disponibilidade de nitrogênio no solo e nos fluxos de CO₂ e N₂O em um latossolo brasileiro. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 321, p. 107633, 1 nov. 2021.

BERÇA, A. S. et al. Methane production and nitrogen balance of dairy heifers grazing palisade grass cv. Marandu alone or with forage peanut. **Journal of Animal Science**, v. 97, n. 11, p. 4625–4634, 4 nov. 2019.

BUBLITZ, L. R. et al. Panicum maximum cultivars for use in integrated agricultural production systems in Cerrado biome soils. **Grassland Science**, v. 70, n. 3, p. 121-129, 2024.

BUDDLE, B. M. et al. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. **The Veterinary Journal**, 188(1), 11-17, 2016.

CANTO, M. W. DO et al. Animal production in Tanzania grass swards fertilized with nitrogen. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 1176–1182, jul. 2009.

Cardoso, A. D. S., et al. Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands. *Sustainability*, 12(16), 6656, 2020.

CARDOSO, A. DA S. et al. Pasture management and greenhouse gases emissions. **Bioscience Journal**, v. 38, p. e38099–e38099, 9 dez. 2022.

CARMO, J. B. DO et al. Short-term changes in nitrogen availability, gas fluxes (CO₂, NO, N₂O) and microbial biomass after tillage during pasture re-establishment in Rondônia, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1, p. 250–259, 1 out. 2007.

CARNEVALLI, R. et al. Herbage production and grazing losses in Panicum maximum cv. Mombaça under four grazing managements. *Tropical Grasslands*, 40, 165-176, 2006.

CASSIMIRO, J. B. et al. Ammonia Volatilization and Marandu Grass Production in Response to Enhanced-Efficiency Nitrogen Fertilizers. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 837, mar. 2023.

CECATO, U. et al. Desempenho animal, produção e valor nutritivo do capim Tanzânia adubado com nitrogênio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 6, p. 3861–3870, 23 nov. 2017.

CONGIO, G. F. S. et al. Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. **Science of The Total Environment**, v. 636, p. 872–880, 15 set. 2018.

CORRÊA, D. C. DA C. et al. Ammonia Volatilization, Forage Accumulation, and Nutritive Value of Marandu Palisade Grass Pastures in Different N Sources and Doses. **Atmosphere**, v. 12, n. 9, p. 1179, set. 2021.

COSTA, C. M. et al. Technologies used in ruminant grazing management: an integrative review. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, n. 6, p. 357, 21 out. 2022.

CARDOSO, A. D. S. et al. Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. *Soil and Tillage Research*, 194, 104341, 2019.

DA SILVA, M. A. et al. Effects of Nitrogen Sources on Primary and Secondary Production from Annual Temperate and Tropical Pastures in Southern Brazil. **Nitrogen**, v. 5, n. 2, p. 483–497, jun. 2024.

DA SILVA, R. O. et al. Effects of increasing nitrogen levels in Mombasa grass on pasture characteristics, chemical composition, and beef cattle performance in the humid tropics of the Amazon. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 3293-3300, 2020.

CHAGAS, P. H. M. et al. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. **Revista de Agricultura Neotropical**, 4(2), 76-80, 2017.

DELEVATTI, L. M. et al. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 7596, 20 maio 2019.

DO NASCIMENTO, A. F. et al. Nitrous oxide emissions and forage accumulation in the Brazilian Amazon forage-livestock systems submitted to N input strategies. **Grassland Science**, v. 67, n. 1, p. 63–72, 2021.

DOS SANTOS, C. A. et al. Productivity of beef cattle grazing *Brachiaria brizantha* cv. Marandu with and without nitrogen fertilizer application or mixed pastures with the legume *Desmodium ovalifolium*. **Grass and Forage Science**, v. 78, n. 1, p. 147–160, 2023.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaça guinea grass pastures. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1937, 4 fev. 2022.

EUCLIDES, V. P. B. et al. Eficiência biológica e econômica de pasto de capim-tanzânia adubado com nitrogênio no final do verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1345–1355, set. 2007.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, Agrifood Systems Transformation and Healthy Diets Across the Rural–Urban Continuum*; FAOABIEC: Rome, Italy, 2023.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, p. 201854, 7 jul. 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION FAO. 2018 The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050. Rome, Italy: FAO. See <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1259562/>

FONTE, S. J. et al. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 150-157, 2014.

GALINDO, F. S. et al. Application of different nitrogen doses to increase nitrogen efficiency in mombasa guineagrass ('*Panicum maximum*' cv. mombasa) at dry and rainy seasons. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1657-1664, 2017.

GIMENES, F. M. DE A. et al. Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 751–759, jul. 2011.

GU, B et al. Cost-effective mitigation of nitrogen pollution from global croplands. *Nature*, 613(7942), 77-84, 2023.

GUIMARÃES, B. C. et al. Emissions of N₂O and NH₃ from cattle excreta in grass pastures fertilized with N or mixed with a forage legume. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 122, n. 3, p. 325–346, 1 abr. 2022.

GURGEL, A. L. C. et al. Carbon and Nitrogen Stocks and Soil Quality in an Area Cultivated with Guinea Grass under the Residual Effect of Nitrogen Doses. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 9381, jan. 2020.

GURGEL, A. L. C. et al. The effect of residual nitrogen fertilization on the yield components, forage quality, and performance of beef cattle fed on Mombaça grass. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 53, n. 1, p. 296–308, 7 jul. 2021.

HODGSON, J. (1990). *Grazing management. Science into practice* (pp. 203-pp).

HOMEM, B. G. C. et al. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 2. Effects on animal performance, forage intake and digestion, and nitrogen metabolism. **Grass and Forage Science**, v. 76, n. 3, p. 413–426, 2021.

HOUZER, E., & SCOONES, I. (2021). Are livestock always bad for the planet. *Rethinking the protein transition and climate change debate*.

HRISTOV, A. N., et al. Special topics—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of animal science*, 91(11), 5045-5069, 2013.

IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdom, 2007. 996 p.

IPCC. Resumo para formuladores de políticas. In: Mudança Climática e Terra: um relatório especial do IPCC sobre mudança climática, desertificação, degradação da terra, gestão sustentável da terra, segurança alimentar e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres. 2019. 41p.

JANK, L. et al. Novas alternativas de cultivares de forrageiras e melhoramento para a sustentabilidade da pecuária. 2017.

JANK, L. et al. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 11, p. 1132–1137, 11 mar. 2014.

JOHNSON, K. A., & JOHNSON, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of animal science*, 73(8), 2483-2492.

LIMA, L. DE O. et al. N-fertilization of tropical pastures improves performance but not methane emission of Nelore growing bulls. **Journal of Animal Science**, v. 101, p. skac362, 1 jan. 2023.

LIMA, L. et al. Response of Pasture Nitrogen Fertilization on Greenhouse Gas Emission and Net Protein Contribution of Nelore Young Bulls. **Animals**, v. 12, n. 22, p. 3173, jan. 2022.

LONGHINI, V. Z. et al. Mathematical models for adjustments in the quantification of ammonia volatilization from urea fertilizer applied on tropical pastures. **Ciência Rural**, 54(5), e20230230, 2024.

LONGHINI, V. Z. et al. Nitrogen supply and rainfall affect ammonia emissions from dairy cattle excreta and urea applied on warm-climate pastures. **Journal of Environmental Quality**, v. 49, n. 6, p. 1453–1466, 2020.

LUO, J. C. A. M., et al. Management options to reduce nitrous oxide emissions from intensively grazed pastures: a review. **Agriculture, ecosystems & environment**, 136(3-4), 282-291, 2010

MARTHA JR, G. B. et al. Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. **Grass and Forage Science**, v. 59, n. 1, p. 80–90, 2004.

MAZZETTO, A. M., et al. (2015). Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. *Livestock Science*, 175, 101-112.

MEIRELLES, G. C. et al. Ammonia volatilization and pasture yield of *Urochloa decumbens* fertilized with nitrogen sources. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 10, p. 1946–1954, 24 ago. 2023.

MORAIS, R. F. et al. Ammonia volatilization and nitrous oxide emissions during soil preparation and N fertilization of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 64, p. 80–88, 1 set. 2013.

MOREIRA, L. M. et al. Produção animal em pastagem de capim-braquiária adubada com nitrogênio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, p. 914–921, ago. 2011.

MOTT, G.O. (1960) Grazing pressure and the measurement of pasture production. In Proceedings of the 8th International Grasslands Congress, Reading, UK, 11–21 July 1960; SKIDMORE, C.L., BOYLE, P.J., RAYMOND, L.W., Eds.; Alden Press: Oxford, UK, 1960; pp. 606–611.

NETO, R. P. et al. Performance and feed intake of Nellore steers in extensive, intensive, and integrated pasture-based beef cattle production systems. **Livestock Science**, v. 105667, 2025.

NESPER, M. et al. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. **Geoderma**, v. 257, p. 123-133, 2015.

NÚÑEZ-RAMOS, P. A. et al. Mediciones de óxido nitroso (N₂O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. **REVISTA TERRA LATINOAMERICANA**, v. 39, 17 jan. 2021.

OLIVEIRA, J. K. D. et al. Effect of nitrogen fertilization on production, chemical composition and morphogenesis of guinea grass in the humid tropics. *Agronomy*, v. 10, n. 11, p. 1840, 2020.

ONGARATTO, F. et al. Effect of the Interaction between Excreta Type and Nitrogen Fertilizer on Greenhouse Gas and Ammonia Emissions in Pastures. **Atmosphere**, v. 14, n. 3, p. 492, mar. 2023.

ONGARATTO, F. et al. Intensive Production and Management of Marandu Palisadegrass (*Urochloa brizantha* 'Marandu') Accelerates Leaf Turnover but Does Not Change Herbage Mass. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1846, set. 2021.

PAGE, M. J. et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **International journal of surgery**, 88, 105906.

PEDREIRA, B. C., PEDREIRA, C. G. S., & SILVA, S. C. D. (2009). Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação. **REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 38, 618-625.

PEREIRA L. E, T. HERLING V. R. E TECH A. R. B. (2022) Current scenario and perspectives for nitrogen fertilization strategies on tropical perennial grass pastures: A review. **Agronomy**, 12(9), 2079.

PINHEIRO, A. A. et al. Produção e valor nutritivo da forragem, e desempenho de bovinos Nelore em pastagem de capim-Tanzânia adubado com nitrogênio ou consorciado com estilosantes Campo Grande. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2147–2158, 27 ago. 2014.

PINTO, L. F. D. M., ET AL. (2001). Dinâmica do acúmulo de matéria seca em pastagens de Tifton 85 sob pastejo. **Scientia Agricola**, 58, 439-447.

POPPI, D. P. et al. Challenges of beef cattle production from tropical pastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 47, e20160419, 2018.

PRIMAVESI, O. et al. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 683–690, jun. 2006.

RAPOSO, E. et al. Greenhouse gases emissions from tropical grasslands affected by nitrogen fertilizer management. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 6, p. 4666–4680, 2020.

REYNOLDS, C. K., CROMPTON, L. A., & MILLS, J. A. (2010). Improving the efficiency of energy utilisation in cattle. **Animal Production Science**, 51(1), 6-12.

RIBEIRO, O. L. et al. Desempenho de bovinos em capim-tanzânia adubado com nitrogênio ou consorciado com Estilosantes. 2011. **Rev. Bras. Saúde Prod. An.**, Salvador, v.12, n.1, p.275-285 jan/mar, 2011.

RODRIGUES, B. A. S. et al. Nitrous oxide flux from soil with *Urochloa brizantha* under nitrogen fertilization in Honduras. **Agronomía Colombiana**, v. 40, n. 3, p. 403–410, 1 set. 2022.

SANTOS, M. E. R. et al. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano: dinâmica do perfilhamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 40, 2332-2339, 2011.

SARABIA-SALGADO et al. Greenhouse Gas Emissions and Crossbred Cow Milk Production in a Silvopastoral System in Tropical Mexico. **Animals**, 13(12), 1941, 2023.

SAVIAN, J. V. et al. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop–livestock system. **Agriculture, ecosystems & environment**, 190, 112-119, 2014.

VAN LINGEN et al. Prediction of enteric methane production, yield and intensity of beef cattle using an intercontinental database. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 283, 106575, 2019.

XIN, D., AHMAD, M., & KHATTAK, S. I. (2022). Impact of innovation in climate change mitigation technologies related to chemical industry on carbon dioxide emissions in the United States. **Journal of Cleaner Production**, 379, 134746.

YUE, P. et al. A five-year study of the impact of nitrogen addition on methane uptake in alpine grassland. **Scientific Reports**, v. 6, n. 1, p. 32064, 30 ago. 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação nitrogenada pode contribuir para o aumento da emissão de GEE, mas estratégias de parcelamento da dose de N, aplicação de doses associadas as exigências das plantas, escolha de fontes menos voláteis e/ou associadas a moléculas que reduzam a perda de N podem reduzir o impacto ambiental.

Os estudos indicam que o parcelamento da dose de N, é uma das principais estratégias para o uso racional dos fertilizantes nitrogenados.

A preocupação com impacto ambiental da produção animal em pastagens tropicais adubadas com N, é um tema recente em pesquisas na América Latina.

O Brasil lidera as pesquisas com adubação nitrogenada em forrageiras tropicais entre os países da América Latina.

Forrageiras do gênero *Brachiaria* são as mais estudadas sob o contexto da adubação nitrogenada, tendo destaque o capim-marandu.

As pesquisas com medidas de desempenho animal utilizam com maior frequência o método de pastejo de lotação contínua. Com o uso da altura como a principal ferramenta de manejo.

A ureia destaca-se entre as fontes de N estudadas.

A publicação de resultados de pesquisa fracionados dificulta a compreensão das interações e do impacto entre de cada componente do sistema solo-planta-animal-meio. As revisões permitiram verificar o impacto da adubação nitrogenada em pastagens tropicais. É perceptível que a revisão sistemática foi capaz de encontrar pesquisas que forneceram dados importantes sobre o problema de pesquisa estudado.

A estratégia de construção de mais de um cruzamento possibilitou o aumento da captura de artigos que auxiliaram a responder à questão norteadora.

Este estudo é o primeiro que busca reunir informações sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais adubadas com nitrogênio a partir de estudos primários disponíveis em seis bases de dados.

A falta de descritores padronizados para a área dificulta as pesquisas dessa natureza, havendo a necessidade do uso de muito sinônimos, o torna os cruzamentos extensos e muitas vezes levando a ajustes nas bases de dados.

Com este estudo foi possível observar que as variáveis publicadas nos artigos, apresentam inúmeras unidades de medidas, fato que dificulta a utilização dos resultados para estudos de meta-análise e modelagem. Além disso, existem poucas variáveis comuns avaliadas entre os artigos, sobretudo nos estudos com desempenho animal.

Os resultados deste estudo demonstram que a adubação nitrogenada é uma ferramenta essencial para aumentar a produção de forragem e o desempenho animal em pastagens tropicais. E apesar do aumento na produção animal existem estratégias para reduzir o impacto ambiental da atividade.

APENDICE A

PROTOCOLO - REVISÃO SISTEMÁTICA

Tema: Efeitos da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais.

Objetivo: Verificar os efeitos da adubação nitrogenada, sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais a partir de estudos publicados em bases de dados.

Questão norteadora: Quais os efeitos da adubação nitrogenada sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais?

Estratégia PICOS para formulação da questão de pesquisa:

P – Gramíneas forrageiras tropicais.

I – Adubação nitrogenada.

C – Forrageiras tropicais adubadas com diferentes doses de nitrogênio.

O – Produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases.

S – Estudos experimentais.

Estratégias de busca

Base de dados e Biblioteca eletrônica

- Base de dados 1: SCOPUS (Elsevier)
- Base de dados 2: *Web of Science* - (Coleção Principal)
- Base de dados 3: Science Direct
- Biblioteca eletrônica 4: Cabi
- Base de dados 5: Springer Link
- Base de dados 6: *SciELO* Citation Index

Descritores

1# (“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrsus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate

grasslands" OR "Tussock grass" OR "Bunchgrass" OR "Creeping grass" OR "Tropical pastures" OR "C₄ Forage grasses" OR "Tropical grasslands" OR "Tropical grasses" OR "Tropical forage grasses" OR "Tropical grass" OR "*Brachiaria* grass" OR "Tropical forage" OR "Tropical-climate grasses")

2# ("Nitrogen fertilizer" OR "Nitrogen Fertilizer levels" OR "Urea" OR "Nitrogen fertili*ation" OR "Ammonium sulphate" OR "Ammonium nitrate" OR "Nitrogen effect" OR "Synthetic fertiliser" OR "Nitrogen rate" OR "Nitrogen doses" OR "Nitrogen requirement" OR "N rates" OR "Nitrogen fertilized" OR "Efficiency and nitrogen" OR "Pasture fertilized" OR "Mineral nitrogen" OR "Nitrogen levels" OR "Rates of nitrogen" OR "Nitrogen fertilization in top dressing" OR "Different nitrogen fertilization" OR "Nitrogen fertilization management" OR "Nitrogen fertilizer management" OR "Nitrogen fertilization strategies" OR "Nitrogen-fertilized" OR "Nitrogen management strategies" OR "Nitrogen fertilizers" OR "Nitrogen efficiency use" OR "Nitrogen top dressing" OR "Nitrogen supply" OR "Fertilized with nitrogen" OR "pasture fertilization" OR "Different n sources" OR "Different n doses" OR "N sources" OR "Nitrogen application rate" OR "Nitrogen efficiency" OR "Nitrogen efficiency use" OR "N fertilizer" OR "Increasing nitrogen rates" OR "Fertilized with nitrogen" OR "Nitrogen fertilization application" OR "Management of nitrogen fertilization" OR "Urea fertilizer" OR "Nitrogen")

3# ("Forage mass" OR "Forage accumulation" OR "Accumulation rate" OR "Biomass" OR "Forage production" OR "Number tillers" OR "Tillering" OR "Dry Mass" OR "Biomass" OR "Sward" OR "Herbage" OR "Herbage mass" OR "Herbage accumulation" OR "Tiller population" OR "Grass" OR "Dry matter" OR "Plant height" OR "Pasture" OR "Sward height" OR "Dry matter production" OR "Cutting number" OR "Growth" OR "Accumulation" OR "Harvest" OR "Forage allowance" OR "Aftermath" OR "Residue" OR "Senescence" OR "Canopy" OR "Rate of accumulation" OR "Structural characteristics" OR "Tiller population density" OR "Forage accumulation rate" OR "Grass forage mass" OR "Biomass accumulation" OR "Forage yield" OR "Forage nutritive value" OR "Cutting intervals" OR "Cutting heights" OR "Tillering dynamics" OR "Chemical composition" OR "Growth dynamics" OR "Morphogenetic" OR "Morphogenic" OR "Morphogenesis" OR "Stability of tiller population" OR "Agronomic performance" OR "Morphological components" OR "Biomass production" OR "Growth" OR "Tillering capacity" OR "Continuous stocking" OR "Stocking density" OR "Grazing pressure" OR "Intermittent stocking" OR "Rotational stocking" OR "Grazing

intensity” OR “Grazing management” OR “Forage intake” OR “Paddock” OR “Grazing system” OR “Period of occupation” OR “Stocking period” OR “Grazing intensities” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Grazing efficiency” OR “Grazing system” OR “Herbage intake” OR “Canopy structure” OR “Sward structure” OR “Defoliation intensity” OR “Defoliation strategies” OR “Defoliation patterns” OR “Defoliation dynamics” OR “Light interception” OR “Leaf area index” OR “Canopy height” OR “Sward height” OR “Pasture height” OR “Grazing cycles” OR “Herbage growth rate” OR “Herbage accumulation rate” OR “Morphological composition” OR “Cutting height” OR “Average grazing interval” OR “Mass production” OR “Biomass components” OR “Growth index” OR “Daily forage accumulation” OR “Tillers” OR “Root mass” OR “Herbage allowance” OR “Shoot dry matter” OR “Root dry matter” OR “Leaf dry matter”)

4# (“Animal performance” OR “Sheep” OR “Ruminant” OR “Ruminant” OR “Meat sheep” OR “Cattle” OR “Dairy cattle” OR “Cow” OR “Dairy cows” OR “Dairy cattle” OR “Lambs” OR “Beef cattle” OR “Performance, animal” OR “Production, animal” OR “Animal responses” OR “Weight gain” OR “Average daily gain” OR “Stocking, rate” OR “Live weight gain” OR “Milk production” OR “Livestock performance” OR “Steer” OR “Steers” OR “Heifer” OR “Heifers” OR “Bos taurus” OR “Bos indicus” OR “Cattle production” OR “Ovis aries” OR “Goat” OR “Gain per hectare”)

5# (“Greenhouse gas” OR “Methane emissions” OR “Nitrous oxide emissions” OR “Carbon dioxide emissions” OR “Greenhouse gas balance” OR “Carbon footprint” OR “CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O” OR “Methane production” OR “Nitrous oxide” OR “Greenhouse gas flux” OR “N₂O flux” OR “CH₄ flux” OR “CO₂ flux” OR “N₂O emissions” OR “CH₄ emission factor” OR “N₂O emission factor” OR Carbon Dioxide” OR “Ammonia emission” OR “Soil methane” OR “CH₄ fluxes” OR “CO₂ fluxes” OR “N₂O fluxes” OR “Nitrous fertiliser” OR “Ammonia volatilization” OR “NH₃ losses” OR “IPCC” OR “Climate Changes” OR “Methane” OR “Ammonia” OR “Enteric methane” OR “GHG” OR “Nitrogen balance” OR “Enteric ch₄” OR “Methane production” OR “Soil carbon stocks”)

Cruzamentos

Cruzamento 1

A= 1# AND 2# AND 4#

B= 1# AND 2# AND 5#

Cruzamento 2

A= 1# AND 2# AND 3# AND 4#

B= 1# AND 2# AND 3# AND 5#

Cruzamento 3

A = 1# AND 2# AND 3# AND 4# AND 5#

SCOPUS:

Cruzamento 1

A) ALL("Brachiaria" OR "Urochloa" OR "Panicum maximum" OR "Megathyrsus" OR "Cynodon" OR "Andropogon" OR "Pennisetum" OR "Cenchrus" OR "Paspalum" OR "Warm-climate grasslands" OR "Tussock grass" OR "Bunchgrass" OR "Creeping grass" OR "Tropical pastures" OR "C₄ Forage grasses" OR "Tropical grasslands" OR "Tropical grasses" OR "Tropical forage grasses" OR "Tropical grass" OR "Brachiaria grass" OR "Tropical forage" OR "Tropical-climate grasses") AND ALL ("Nitrogen fertilizer" OR "Nitrogen Fertilizer levels" OR "Urea" OR "Nitrogen fertilization" OR "Ammonium sulphate" OR "Ammonium nitrate" OR "Nitrogen effect" OR "Synthetic fertiliser" OR "Nitrogen rate" OR "Nitrogen doses" OR "Nitrogen requirement" OR "N rates" OR "Nitrogen fertilized" OR "Efficiency and nitrogen" OR "Pasture fertilized" OR "Mineral nitrogen" OR "Nitrogen levels" OR "Rates of nitrogen" OR "Nitrogen fertilization in top dressing" OR "Different nitrogen fertilization" OR "Nitrogen fertilization management" OR "Nitrogen fertilizer management" OR "Nitrogen fertilization strategies" OR "Nitrogen-fertilized" OR "Nitrogen management strategies" OR "Nitrogen fertilizers" OR "Nitrogen efficiency use" OR "Nitrogen top dressing" OR "Nitrogen supply" OR "Fertilized with nitrogen" OR "pasture fertilization" OR "Different n sources" OR "Different n doses" OR "N sources" OR "Nitrogen application rate" OR "Nitrogen efficiency" OR "Nitrogen efficiency use" OR "N fertilizer" OR "Increasing nitrogen rates" OR "Fertilized with nitrogen" OR "Nitrogen fertilization application" OR "Management of nitrogen fertilization" OR "Urea fertilizer" OR "Nitrogen") AND ALL ("Animal performance" OR "Sheep" OR "Ruminant" OR

“Ruminant” OR OR “Meat sheep” OR “Cattle” OR “Dairy cattle” OR “Cow” OR “Dairy cows” OR “Dairy cattle” OR “Lambs” OR “Beef cattle” OR “Performance, animal” OR “Production, animal” OR “Animal responses” OR “Weight gain” OR “Average daily gain” OR “Stocking, rate” OR “Live weight gain” OR “Milk production” OR “Livestock performance” OR “Steer” OR “Steers” OR “Heifer” OR “Heifers” OR “Bos taurus” OR “Bos indicus” OR “Cattle production” OR “Ovis aries” OR “Goat” OR “Gain per hectare”)

B) ALL (“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrsus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tussock grass” OR “Bunchgrass” OR “Creeping grass” OR “Tropical pastures” OR “C₄ Forage grasses” OR “Tropical grasslands” OR “Tropical grasses” OR “Tropical forage grasses” OR “Tropical grass” OR “*Brachiaria* grass” OR “Tropical forage” OR “Tropical-climate grasses”) AND ALL (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertilization” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen effect” OR “Synthetic fertiliser” OR “Nitrogen rate” OR “Nitrogen doses” OR “Nitrogen requirement” OR “N rates” OR “Nitrogen fertilized” OR “Efficiency and nitrogen” OR “Pasture fertilized” OR “Mineral nitrogen” OR “Nitrogen levels” OR “Rates of nitrogen” OR “Nitrogen fertilization in top dressing” OR “Different nitrogen fertilization” OR “Nitrogen fertilization management” OR “Nitrogen fertilizer management” OR “Nitrogen fertilization strategies” OR “Nitrogen-fertilized” OR “Nitrogen management strategies” OR “Nitrogen fertilizers” OR “Nitrogen efficiency use” OR “Nitrogen top dressing” OR “Nitrogen supply” OR “Fertilized with nitrogen” OR “pasture fertilization” OR “Different n sources” OR “Different n doses” OR “N sources” OR “Nitrogen application rate” OR “Nitrogen efficiency” OR “Nitrogen efficiency use” OR “N fertilizer” OR “Increasing nitrogen rates” OR “Fertilized with nitrogen” OR “Nitrogen fertilization application” OR “Management of nitrogen fertilization” OR “Urea fertilizer” OR “Nitrogen”) AND ALL (“Greenhouse gas” OR “Methane emissions” OR “Nitrous oxide emissions” OR “Carbon dioxide emissions” OR “Greenhouse gas balance” OR “Carbon footprint” OR “CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O” OR “Methane production” OR “Nitrous oxide” OR “Greenhouse gas flux” OR “N₂O flux” OR “CH₄ flux” OR “CO₂ flux” OR “N₂O emissions” OR “CH₄ emission factor” OR “N₂O emission factor” OR “Carbon Dioxide” OR “Ammonia emission” OR “Soil methane” OR “CH₄ fluxes” OR “CO₂

fluxes" OR "N₂O fluxes" OR "Nitrous fertiliser" OR "Ammonia volatilization" OR "NH₃ losses" OR "IPCC" OR "Climate Changes" OR "Methane" OR "Ammonia" OR "Enteric methane" OR "GHG" OR "Nitrogen balance" OR "Enteric ch₄" OR "Methane production" OR "Soil carbon stocks")

Cruzamento 2

A) ALL("Brachiaria" OR "Urochloa" OR "Panicum maximum" OR "Megathyrsus" OR "Cynodon" OR "Andropogon" OR "Pennisetum" OR "Cenchrus" OR "Paspalum" OR "Warm-climate grasslands" OR "Tussock grass" OR "Bunchgrass" OR "Creeping grass" OR "Tropical pastures" OR "C₄ Forage grasses" OR "Tropical grasslands" OR "Tropical grasses" OR "Tropical forage grasses" OR "Tropical grass" OR "Brachiaria grass" OR "Tropical forage" OR "Tropical-climate grasses") AND ALL ("Nitrogen fertilizer" OR "Nitrogen Fertilizer levels" OR "Urea" OR "Nitrogen fertili*ation" OR "Ammonium sulphate" OR "Ammonium nitrate" OR "Nitrogen effect" OR "Synthetic fertiliser" OR "Nitrogen rate" OR "Nitrogen doses" OR "Nitrogen requirement" OR "N rates" OR "Nitrogen fertilized" OR "Efficiency and nitrogen" OR "Pasture fertilized" OR "Mineral nitrogen" OR "Nitrogen levels" OR "Rates of nitrogen" OR "Nitrogen fertilization in top dressing" OR "Different nitrogen fertilization" OR "Nitrogen fertilization management" OR "Nitrogen fertilizer management" OR "Nitrogen fertilization strategies" OR "Nitrogen-fertilized" OR "Nitrogen management strategies" OR "Nitrogen fertilizers" OR "Nitrogen efficiency use" OR "Nitrogen top dressing" OR "Nitrogen supply" OR "Fertilized with nitrogen" OR "pasture fertilization" OR "Different n sources" OR "Different n doses" OR "N sources" OR "Nitrogen application rate" OR "Nitrogen efficiency" OR "Nitrogen efficiency use" OR "N fertilizer" OR "Increasing nitrogen rates" OR "Fertilized with nitrogen" OR "Nitrogen fertilization application" OR "Management of nitrogen fertilization" OR "Urea fertilizer" OR "Nitrogen") AND ALL ("Forage mass" OR "Forage accumulation" OR "Accumulation rate" OR "Biomass" OR "Forage production" OR "Number tillers" OR "Tillering" OR "Dry Mass" OR "Sward" OR "Herbage" OR "Herbage mass" OR "Herbage accumulation" OR "Tiller population" OR "Grass" OR "Dry matter" OR "Plant height" OR "Pasture" OR "Sward height" OR "Dry matter production" OR "Cutting number" OR "Growth" OR "Accumulation" OR "Harvest" OR "Forage allowance" OR "Aftermath" OR "Residue" OR

“Senescence” OR “Canopy” OR “Rate of accumulation” OR “Structural characteristics” OR “Tiller population density” OR “Forage accumulation rate” OR “Grass forage mass” OR “Biomass accumulation” OR “Forage yield” “Forage nutritive value” OR “Cutting intervals” OR “Cutting heights” OR “Tillering dynamics” OR “Chemical composition” OR “Growth dynamics” OR “Morphogenetic” OR “Morphogenic” OR “Morphogenesis” OR “Stability of tiller population” OR “Agronomic performance” OR “Morphological components” OR “Biomass production” OR “Growth” OR “Tillering capacity” OR “Continuous stocking” OR “Stocking density” OR “Grazing pressure” OR “Intermittent stocking” OR “Rotational stocking” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Forage intake” OR “Paddock” OR “Grazing system” OR “Period of occupation” OR “Stocking period” OR “Grazing intensities” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Grazing efficiency” OR “Grazing system” OR “Herbage intake” OR “Canopy structure” OR “Sward structure” OR “Defoliation intensity” OR “Defoliation strategies” OR “Defoliation patterns” OR “Defoliation dynamics” OR “Light interception” OR “Leaf area index” OR “Canopy height” OR “Sward height” OR “Pasture height” OR “Grazing cycles” OR “Herbage growth rate” OR “Herbage accumulation rate” OR “Morphological composition” OR “Cutting height” OR “Average grazing interval” OR “Mass production” OR “Biomass components” OR “Growth index” OR “Daily forage accumulation” OR “Tillers” OR “Root mass” OR “Herbage allowance” OR “Shoot dry matter” OR “Root dry matter” OR “Leaf dry matter”) AND ALL (“Animal performance” OR “Sheep” OR “Ruminant” OR “Ruminant” OR OR “Meat sheep” OR “Cattle” OR “Dairy cattle” OR “Cow” OR “Dairy cows” OR “Dairy cattle” OR “Lambs” OR “Beef cattle” OR “Performance, animal” OR “Production, animal” OR “Animal responses” OR “Weight gain” OR “Average daily gain” OR “Stocking, rate” OR “Live weight gain” OR “Milk production” OR “Livestock performance” OR “Steer” OR “Steers” OR “Heifer” OR “Heifers” OR “Bos taurus” OR “Bos indicus” OR “Cattle production” OR “Ovis aries” OR “Goat” OR “Gain per hectare”)

B) ALL(“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrsus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tussock grass” OR “Bunchgrass”

OR "Creeping grass" OR "Tropical pastures" OR "C4 Forage grasses" OR "Tropical grasslands" OR "Tropical grasses" OR "Tropical forage grasses" OR "Tropical grass" OR "*Brachiaria* grass" OR "Tropical forage" OR "Tropical-climate grasses") AND ALL ("Nitrogen fertilizer" OR "Nitrogen Fertilizer levels" OR "Urea" OR "Nitrogen fertili*ation" OR "Ammonium sulphate" OR "Ammonium nitrate" OR "Nitrogen effect" OR "Synthetic fertiliser" OR "Nitrogen rate" OR "Nitrogen doses" OR "Nitrogen requirement" OR "N rates" OR "Nitrogen fertilized" OR "Efficiency and nitrogen" OR "Pasture fertilized" OR "Mineral nitrogen" OR "Nitrogen levels" OR "Rates of nitrogen" OR "Nitrogen fertilization in top dressing" OR "Different nitrogen fertilization" OR "Nitrogen fertilization management" OR "Nitrogen fertilizer management" OR "Nitrogen fertilization strategies" OR "Nitrogen-fertilized" OR "Nitrogen management strategies" OR "Nitrogen fertilizers" OR "Nitrogen efficiency use" OR "Nitrogen top dressing" OR "Nitrogen supply" OR "Fertilized with nitrogen" OR "pasture fertilization" OR "Different n sources" OR "Different n doses" OR "N sources" OR "Nitrogen application rate" OR "Nitrogen efficiency" OR "Nitrogen efficiency use" OR "N fertilizer" OR "Increasing nitrogen rates" OR "Fertilized with nitrogen" OR "Nitrogen fertilization application" OR "Management of nitrogen fertilization" OR "Urea fertilizer" OR "Nitrogen") AND ALL ("Forage mass" OR "Forage accumulation" OR "Accumulation rate" OR "Biomass" OR "Forage production" OR "Number tillers" OR "Tillering" OR "Dry Mass" OR "Biomass" OR "Sward" OR "Herbage" OR "Herbage mass" OR "Herbage accumulation" OR "Tiller population" OR "Grass" OR "Dry matter" OR "Plant height" OR "Pasture" OR "Sward height" OR "Dry matter production" OR "Cutting number" OR "Growth" OR "Accumulation" OR "Harvest" OR "Forage allowance" OR "Aftermath" OR "Residue" OR "Senescence" OR "Canopy" OR "Rate of accumulation" OR "Structural characteristics" OR "Tiller population density" OR "Forage accumulation rate" OR "Grass forage mass" OR "Biomass accumulation" OR "Forage yield" OR "Forage nutritive value" OR "Cutting intervals" OR "Cutting heights" OR "Tillering dynamics" OR "Chemical composition" OR "Growth dynamics" OR "Morphogenetic" OR "Morphogenic" OR "Morphogenesis" OR "Stability of tiller population" OR "Agronomic performance" OR "Morphological components" OR "Biomass production" OR "Growth" OR "Tillering capacity" OR "Continuous stocking" OR "Stocking density" OR "Grazing pressure" OR

“Intermittent stocking” OR “Rotational stocking” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Forage intake” OR “Paddock” OR “Grazing system” OR “Period of occupation” OR “Stocking period” OR “Grazing intensities” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Grazing efficiency” OR “Grazing system” OR “Herbage intake” OR “Canopy structure” OR “Sward structure” OR “Defoliation intensity” OR “Defoliation strategies” OR “Defoliation patterns” OR “Defoliation dynamics” OR “Light interception” OR “Leaf area index” OR “Canopy height” OR “Sward height” OR “Pasture height” OR “Grazing cycles” OR “Herbage growth rate” OR “Herbage accumulation rate” OR “Morphological composition” OR “Cutting height” OR “Average grazing interval” OR “Mass production” OR “Biomass components” OR “Growth index” OR “Daily forage accumulation” OR “Tillers” OR “Root mass” OR “Herbage allowance” OR “Shoot dry matter” OR “Root dry matter” OR “Leaf dry matter”) AND ALL (“Greenhouse gas” OR “Methane emissions” OR “Nitrous oxide emissions” OR “Carbon dioxide emissions” OR “Greenhouse gas balance” OR “Carbon footprint” OR “CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O” OR “Methane production” OR “Nitrous oxide” OR “Greenhouse gas flux” OR “N₂O flux” OR “CH₄ flux” OR “CO₂ flux” OR “N₂O emissions” OR “CH₄ emission factor” OR “N₂O emission factor” OR “Carbon Dioxide” OR “Ammonia emission” OR “Soil methane” OR “CH₄ fluxes” OR “CO₂ fluxes” OR “N₂O fluxes” OR “Nitrous fertiliser” OR “Ammonia volatilization” OR “NH₃ losses” OR “IPCC” OR “Climate Changes” OR “Methane” OR “Ammonia” OR “Enteric methane” OR “GHG” OR “Nitrogen balance” OR “Enteric ch₄” OR “Methane production” OR “Soil carbon stocks”)

Cruzamento 3

A) ALL(“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrsus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tussock grass” OR “Bunchgrass” OR “Creeping grass” OR “Tropical pastures” OR “C₄ Forage grasses” OR “Tropical grasslands” OR “Tropical grasses” OR “Tropical forage grasses” OR “Tropical grass” OR “*Brachiaria* grass” OR “Tropical forage” OR “Tropical-climate grasses”) AND ALL (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertilization” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen effect” OR

“Synthetic fertiliser” OR “Nitrogen rate” OR “Nitrogen doses” OR “Nitrogen requirement” OR “N rates” OR “Nitrogen fertilized” OR “Efficiency and nitrogen” OR “Pasture fertilized” OR “Mineral nitrogen” OR “Nitrogen levels” OR “Rates of nitrogen” OR “Nitrogen fertilization in top dressing” OR “Different nitrogen fertilization” OR “Nitrogen fertilization management” OR “Nitrogen fertilizer management” OR “Nitrogen fertilization strategies” OR “Nitrogen-fertilized” OR “Nitrogen management strategies” OR “Nitrogen fertilizers” OR “Nitrogen efficiency use” OR “Nitrogen top dressing” OR “Nitrogen supply” OR “Fertilized with nitrogen” OR “pasture fertilization” OR “Different n sources” OR “Different n doses” OR “N sources” OR “Nitrogen application rate” OR “Nitrogen efficiency” OR “Nitrogen efficiency use” OR “N fertilizer” OR “Increasing nitrogen rates” OR “Fertilized with nitrogen” OR “Nitrogen fertilization application” OR “Management of nitrogen fertilization” OR “Urea fertilizer” OR “Nitrogen”) AND ALL (“Forage mass” OR “Forage accumulation” OR “Accumulation rate” OR “Biomass” OR “Forage production” OR “Number tillers” OR “Tillering” OR “Dry Mass” OR “Biomass” OR “Sward” OR “Herbage” OR “Herbage mass” OR “Herbage accumulation” OR “Tiller population” OR “Grass” OR “Dry matter” OR “Plant height” OR “Pasture” OR “Sward height” OR “Dry matter production” OR “Cutting number” OR “Growth” OR “Accumulation” OR “Harvest” OR “Forage allowance” OR “Aftermath” OR “Residue” OR “Senescence” OR “Canopy” OR “Rate of accumulation” OR “Structural characteristics” OR “Tiller population density” OR “Forage accumulation rate” OR “Grass forage mass” OR “Biomass accumulation” OR “Forage yield” OR “Forage nutritive value” OR “Cutting intervals” OR “Cutting heights” OR “Tillering dynamics” OR “Chemical composition” OR “Growth dynamics” OR “Morphogenetic” OR “Morphogenic” OR “Morphogenesis” OR “Stability of tiller population” OR “Agronomic performance” OR “Morphological components” OR “Biomass production” OR “Growth” OR “Tillering capacity” OR “Continuous stocking” OR “Stocking density” OR “Grazing pressure” OR “Intermittent stocking” OR “Rotational stocking” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Forage intake” OR “Paddock” OR “Grazing system” OR “Period of occupation” OR “Stocking period” OR “Grazing intensities” OR “Grazing intensity” OR “Grazing management” OR “Grazing efficiency” OR “Grazing

system" OR "Herbage intake" OR "Canopy structure" OR "Sward structure" OR "Defoliation intensity" OR "Defoliation strategies" OR "Defoliation patterns" OR "Defoliation dynamics" OR "Light interception" OR "Leaf area index" OR "Canopy height" OR "Sward height" OR "Pasture height" OR "Grazing cycles" OR "Herbage growth rate" OR "Herbage accumulation rate" OR "Morphological composition" OR "Cutting height" OR "Average grazing interval" OR "Mass production" OR "Biomass components" OR "Growth index" OR "Daily forage accumulation" OR "Tillers" OR "Root mass" OR "Herbage allowance" OR "Shoot dry matter" OR "Root dry matter" OR "Leaf dry matter") AND ALL ("Animal performance" OR "Sheep" OR "Ruminant" OR "Ruminant" OR "Meat sheep" OR "Cattle" OR "Dairy cattle" OR "Cow" OR "Dairy cows" OR "Dairy cattle" OR "Lambs" OR "Beef cattle" OR "Performance, animal" OR "Production, animal" OR "Animal responses" OR "Weight gain" OR "Average daily gain" OR "Stocking, rate" OR "Live weight gain" OR "Milk production" OR "Livestock performance" OR "Steer" OR "Steers" OR "Heifer" OR "Heifers" OR "Bos taurus" OR "Bos indicus" OR "Cattle production" OR "Ovis aries" OR "Goat" OR "Gain per hectare") AND ALL ("Greenhouse gas" OR "Methane emissions" OR "Nitrous oxide emissions" OR "Carbon dioxide emissions" OR "Greenhouse gas balance" OR "Carbon footprint" OR "CH₄" OR "CO₂" OR "N₂O" OR "Methane production" OR "Nitrous oxide" OR "Greenhouse gas flux" OR "N₂O flux" OR "CH₄ flux" OR "CO₂ flux" OR "N₂O emissions" OR "CH₄ emission factor" OR "N₂O emission factor" OR "Carbon Dioxide" OR "Ammonia emission" OR "Soil methane" OR "CH₄ fluxes" OR "CO₂ fluxes" OR "N₂O fluxes" OR "Nitrous fertiliser" OR "Ammonia volatilization" OR "NH₃ losses" OR "IPCC" OR "Climate Changes" OR "Methane" OR "Ammonia" OR "Enteric methane" OR "GHG" OR "Nitrogen balance" OR "Enteric ch₄" OR "Methane production" OR "Soil carbon stocks")

Web of Science e SciELO Citation Index:

Cruzamento 1

A) ALL=((*Brachiaria* OR *Urochloa* OR *Panicum maximum* OR *Megathyrus* OR *Cynodon* OR *Andropogon* OR *Pennisetum* OR *Cenchrus* OR

“*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tropical pastures”) ALL (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Ferti*er levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertili*ation” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen effect”) ALL (“Animal performance” OR “Ruminant” OR “Performance, animal” OR “Production, animal” OR “Animal responses” OR “Weight gain” OR “Average daily gain” OR “Stocking, rate” OR “Live weight gain” OR “Gain per hectare”))

- B)** ALL=((“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrsus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tropical pastures”) ALL (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Ferti*er levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertili*ation” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen effect”) ALL (“Greenhouse gas” OR “Methane emissions” OR “Nitrous oxide emissions” OR “Carbon dioxide emissions” OR “Greenhouse gas balance” OR “CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O”))

Cruzamento 2

- A)** ALL=((“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrsus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tropical pastures”) ALL (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Ferti*er levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertili*ation” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen effect”) ALL (“Forage mass” OR “Forage accumulation” OR “Accumulation rate” OR “Biomass” OR “Forage production” OR “Dry Mass” OR “Biomass” OR “Dry matter production”) ALL (“Animal performance” OR “Ruminant” OR “Performance, animal” OR “Production, animal” OR “Animal responses” OR “Weight gain” OR “Average daily gain” OR “Stocking, rate” OR “Live weight gain” OR “Gain per hectare”))
- B)** ALL=((“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrsus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tropical pastures”) AND ALL (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Ferti*er levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertili*ation” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen

effect”) AND ALL (“Forage mass” OR “Forage accumulation” OR “Accumulation rate” OR “Biomass” OR “Forage production” OR “Dry Mass” OR “Biomass” OR “Dry matter production”) AND ALL (“Greenhouse gas” OR “Methane emissions” OR “Nitrous oxide emissions” OR “Carbon dioxide emissions” OR “Greenhouse gas balance” OR “CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O”))

Cruzamento 3

A) ALL=((“*Brachiaria*” OR “*Urochloa*” OR “*Panicum maximum*” OR “*Megathyrus*” OR “*Cynodon*” OR “*Andropogon*” OR “*Pennisetum*” OR “*Cenchrus*” OR “*Paspalum*” OR “Warm-climate grasslands” OR “Tropical pastures”) AND ALL (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels” OR “Urea” OR “Nitrogen fertilization” OR “Ammonium sulphate” OR “Ammonium nitrate” OR “Nitrogen effect”) AND ALL (“Forage mass” OR “Forage accumulation” OR “Accumulation rate” OR “Biomass” OR “Forage production” OR “Dry Mass” OR “Biomass” OR “Dry matter production”) AND ALL (“Animal performance” OR “Ruminant” OR “Performance, animal” OR “Production, animal” OR “Animal responses” OR “Weight gain” OR “Average daily gain” OR “Stocking, rate” OR “Live weight gain” OR “Gain per hectare”) AND ALL (“Greenhouse gas” OR “Methane emissions” OR “Nitrous oxide emissions” OR “Carbon dioxide emissions” OR “Greenhouse gas balance” OR “CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O”))

Science Direct, CABI, Springer

Cruzamento 1

A) (“*Brachiaria*” OR “*Panicum Maximum*”) AND (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels”) AND (“Weight gain” OR “Stocking rate”)

B) (“*Brachiaria*” OR “*Panicum Maximum*”) AND (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels”) AND (“CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O”)

Cruzamento 2

A) (“*Brachiaria*” OR “*Panicum Maximum*”) AND (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels”) AND (“Number tillers” OR “Forage Mass” OR “Biomass”) AND (“Weight gain” OR “Stocking rate”)

B) (“*Brachiaria*” OR “*Panicum Maximum*”) AND (“Nitrogen fertilizer” OR “Nitrogen Fertilizer levels”) AND (“Forage Mass” OR “Biomass”) AND (“CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O”)

Cruzamento 3

A) (“*Brachiaria*” OR “*Panicum Maximum*”) AND (“Nitrogen fertilizer”) AND (“Forage Mass”) AND (“Weight gain” OR “Stocking rate”) AND (“CH₄” OR “CO₂” OR “N₂O”)

Seleção dos estudos

Critérios de inclusão: artigos completos no formato de estudos experimentais disponíveis na íntegra nas bases de dados e artigos que abordaram os efeitos do uso de fertilizantes nitrogenados sobre a produção de forragem, desempenho animal e emissões de gases de efeito estufa. Estudos em qualquer idioma e sem recorte temporal.

Critérios de exclusão: Editoriais, cartas ao editor, resumos, opinião de especialistas, outras revisões, correspondências, resenhas, capítulos de livros, teses e dissertações. Artigos duplicados foram considerados apenas uma vez.

Teste de Relevância

O teste de relevância (Olsen, 1995) foi realizado com dois avaliadores previamente treinados.

Estratégia para coleta de dados e síntese de estudos

O instrumento que contém informações sobre a identificação da publicação (título do artigo, autores, ano, DOI, nome da revista, país, localidade, idioma de publicação, espécie vegetal, cultivar, delineamento, tipo de solo, Tempo de avaliação experimental, tratamento, número de repetições, fonte do nitrogênio, fracionamento do nitrogênio, método de pastejo, controle da altura, número de animais testers, categorias animais, raça ou padrão racial dos animais, peso inicial dos animais, variáveis analisadas nos estudos (características produtivas do pasto,

composição química, medidas de desempenho animal, variáveis de emissões de CO₂, CH₄, N₂O, NH₃ e Teores de C e N), apontamentos e conclusão dos estudos.

Avaliação metodológica dos estudos

A avaliação metodológica das pesquisas seguiu o Critical Skills Assesment Program (2018). Lista de verificação online CASP (Critical Appaisal Skills Program). Disponível em: <https://casp-uk.net/wp-content/uploads/2018CASP-Case-Control-Study-Checklist-2018.pdf>

Resultado da pesquisa concluída até 23 de outubro de 2023.

BASE DE DADOS	CRUZAMENTOS	Nº DE DOCUMENTOS RECUPERADOS	Nº DE ARTIGOS RECUPERADOS
SCOPUS	CRUZAMENTO 1		
	A#	18.343	15.568
	B#	19.702	15.595
	CRUZAMENTO 2		
	A#	15.877	13.346
	B#	19.484	15.404
	CRUZAMENTO 3		
	A#	7.945	6.290
Springer	CRUZAMENTO 1		
	A#	1.103	329
	B#	578	134
	CRUZAMENTO 2		
	A#	697	144
	B#	377	57
	CRUZAMENTO 3		
	A#	307	21
	CRUZAMENTO 1		

Web of Science	A#	34	34
	B#	8	8
	CRUZAMENTO 2		
	A#	1	1
	B#	3	3
	CRUZAMENTO 3		
	A#	0	0
Science Direct	CRUZAMENTO 1		
	A#	46	28
	B#	33	17
	CRUZAMENTO 2		
	A#	28	19
	B#	22	13
	CRUZAMENTO 3		
	A#	0	0
Cabi	CRUZAMENTO 1		
	A#	16	14
	B#	2	1
	CRUZAMENTO 2		
	A#	5	5
	B#	0	0
	CRUZAMENTO 3		
	A#	0	0
	CRUZAMENTO 1		
	A#	62	62
	B#	7	7

SCIELO	CRUZAMENTO 2		
	A#	10	10
	B#	0	0
	CRUZAMENTO 3		
	A#	0	0
TOTAL		84.629	66.976

Referências

Olsen, J., 1995. Meta-analysis or Collaborative Studies. Journal of Occupational and Environmental Medicine 37, 897-902. Doi:10.1097/00043764-199508000-00002.

