

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL – PPGCA

FERNANDA CRISTINA SCHÜTZ GISLON

**ENTENDENDO A COEXISTÊNCIA E DINÂMICA PRODUTIVA EM
PASTOS FORMADOS POR *Cenchrus clandestinus* E *Cynodon* spp
CULTIVADOS EM ASSOCIAÇÃO**

LAGES

2025

FERNANDA CRISTINA SCHÜTZ GISLON

Entendendo a coexistência e dinâmica produtiva em pastos formados por *Cenchrus clandestinus* e *Cynodon* spp cultivados em associação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: André Fischer Sbrissia
Coorientadora : Maria Gabriela Pittaro

LAGES

2025

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Gislon, Fernanda Cristina Schutz

Entendendo a coexistência e dinâmica produtiva em pastos formados por *Cenchrus clandestinus* e *Cynodon* spp cultivados em associação / Fernanda Cristina Schutz Gislon. -- 2025.
66 p.

Orientador: André Fischer Sbrissia

Coorientadora: Maria Gabriela Pittaro

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages, 2025.

1. Tifton 85. 2. Capim-quicuiu.. 3. Estratégias de adubação nitrogenada . 4. Acúmulo de forragem.. I. Fischer Sbrissia, André . II. Pittaro, Maria Gabriela. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. IV. Título.

FERNANDA CRISTINA SCHÜTZ GISLON

Entendendo a coexistência e dinâmica produtiva em pastos formados por *Cenchrus clandestinus* e *Cynodon* spp cultivados em associação

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.

Lages, 11 de fevereiro de 2025

ATA DE BANCA DE AVALIAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos onze de fevereiro de dois mil e vinte e cinco, às 14h00 horas, reuniu-se a Banca de Avaliação da Dissertação de Mestrado em Ciência Animal da mestrand **FERNANDA CRISTINA SCHÜTZ GISLON**, intitulada **"Entendendo a coexistência e dinâmica produtiva em pastos formados por *Cenchrus clandestinus* e *Cynodon spp* cultivados em associação"**, sendo a banca composta por: Dr. Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho na qualidade de Presidente, Dra. Kelen Cristina Basso e Dr. Paulo Gonçalves Duchini na qualidade de membros. Sendo membros suplentes o Dr. Daniel Schmitt e o Dr. Tiago Celso Baldissera. Após defesa pública da referida dissertação pela mestrand perante a Banca e o público presente, a Banca de Avaliação atribuiu à mesma a seguinte avaliação:

Membro da Banca	Assinatura
Dr. Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho - UDESC (presidente)	
Dra. Kelen Cristina Basso - UFSC (membro externo)	 Documento assinado digitalmente KELEN CRISTINA BASSO Data: 17/02/2025 08:39:11-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Dr. Paulo Gonçalves Duchini - EPAGRI (membro externo)	 Documento assinado digitalmente PAULO GONCALVES DUCHINI Data: 13/02/2025 08:05:03-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br
Dr. Daniel Schmitt - UDESC (suplente)	
Dr. Tiago Celso Baldissera - EPAGRI (suplente)	

Avaliação Final - Parecer da Banca:

- (☒) Aprovação
(☐) Aprovação mediante correções
(☐) Reprovação

Observações: _____

Lages, 11 de fevereiro de 2025.

Visto do Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal

Despacho para Secretaria em:



Assinaturas do documento



Código para verificação: **7K47AFZ1**

Este documento foi assinado digitalmente pelos seguintes signatários nas datas indicadas:

- ✓ **PAULO GONCALVES DUCHINI** (CPF: 066.XXX.169-XX) em 13/02/2025 às 08:05:03
Emitido por: "AC Final do Governo Federal do Brasil v1", emitido em 18/10/2024 - 17:56:30 e válido até 18/10/2025 - 17:56:30.
(Assinatura Gov.br)
- ✓ **KELEN CRISTINA BASSO** (CPF: 097.XXX.788-XX) em 17/02/2025 às 08:39:11
Emitido por: "AC Final do Governo Federal do Brasil v1", emitido em 17/02/2025 - 08:39:10 e válido até 17/02/2026 - 08:39:10.
(Assinatura Gov.br)
- ✓ **HENRIQUE MENDONCA NUNES RIBEIRO FILHO** (CPF: 504.XXX.900-XX) em 17/02/2025 às 09:57:40
Emitido por: "SGP-e", emitido em 30/03/2018 - 12:42:16 e válido até 30/03/2118 - 12:42:16.
(Assinatura do sistema)

Para verificar a autenticidade desta cópia, acesse o link <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo/conferencia-documento/VURFU0NfMTlwMjJfMDAwMDQyNjhfdNDI3MF8yMDI1XzdLNDdBRlox> ou o site <https://portal.sgpe.sea.sc.gov.br/portal-externo> e informe o processo **UDESC 00004268/2025** e o código **7K47AFZ1** ou aponte a câmera para o QR Code presente nesta página para realizar a conferência.

Dedico aos meus avós Elenir, Mara,
Rogério (*in memoriam*) e Gilberto (*in
memoriam*). Amo vocês!

*“Slow down, you crazy child
You’re so ambitious for a juvenile
But then if you’re so smart
Tell me why are you still so afraid?”
— Vienna, Billy Joel*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, essa força maior que sempre me guiou pelo caminho certo, me dando vida, amor e oportunidades, me ajudando em momentos difíceis.

Agradeço aos meus pais, Ana Cristina Schutz e Marcus Rogerio Gislou, por sempre me apoiarem e me permitirem seguir meus sonhos, apesar de qualquer dificuldade. Obrigada aos meus avós: Mara Regina Dias Gislou, Elenir Schutz, Rogério Gislou e Gilberto Schutz (in memoriam) por me ensinarem sobre a vida, sobre amar aos animais e sobre força. Agradeço também a cada uma das mulheres da minha família: cada uma de vocês é exemplo de determinação e resiliência, vocês são grande exemplo de luta para mim.

Agradeço aos professores André Fischer Sbrissia e Sandra Maria Ferraz, meus orientadores de Mestrado, que acreditaram no meu potencial e me deram a oportunidade de conquistar mais este sonho. Foram pessoas essenciais que me deram mais do que apenas orientação intelectual, mas também emocional e de vida.

Estendo meus agradecimentos principalmente a minha coorientadora, Maria Gabriela Pittaro, que se tornou uma grande amiga de estrada. Obrigada por todos os conselhos, toda a paciência e por ser essa mulher de grande coração, agradeço todos os dias pela sua presença em minha vida.

Agradeço a todos os membros do Núcleo de Pesquisa em Pastagens (NUPEP), em especial e seus integrantes e ex-companheiros de trabalho: Fabão, Tio Dani, Valen, Danielli, Igor e estagiários e bolsistas, além de todos que em algum momento fizeram parte deste grupo: muito obrigada!!! Por cada risada, aprendizado, dia de trabalho e conquista, obrigada pela paciência, carinho, atenção e oportunidade que me deram. A mesma gratidão é estendida a Rayllana Larsen e Marcela Brüggemann, e cada uma das pessoas, amigos e familiares que influenciaram a minha história.

Agradeço a Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), pela oportunidade de realizar meu mestrado, por toda infraestrutura, incentivo financeiro e conhecimento proporcionados.

Agradeço a CAPES, pela oportunidade de bolsa de Mestrado nestes dois anos.

Agradeço a FAPESC (2023/TR 342), pela concessão de recursos para esta pesquisa.

RESUMO

GISLON, Fernanda Cristina Schütz. Entendendo a coexistência e dinâmica produtiva de *Cenchrus clandestinus* e *Cynodon* spp cultivados em associação. 2025. 66 p. Dissertação (Mestre em Ciência Animal – Área: Produção Animal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós- Graduação em Ciência Animal. Lages, 2025.

Ecossistemas pastoris mais diversos tem se mostrado como uma alternativa promissora aos monocultivos comumente utilizados em sistemas pecuários. Os principais moduladores de produção em tais pastos são o manejo do pastejo e a adubação nitrogenada, responsáveis por modificar os padrões de respostas individuais e na comunidade das plantas. Assim, o objetivo do presente trabalho foi identificar se estratégias e doses de adubação alteram os padrões funcionais das plantas e promovem contribuições diferentes para o acúmulo de forragem em pastos compostos majoritariamente por *Cynodon* spp. e *Cenchrus clandestinus*. O pasto era formado pelas espécies *Arachis pintoii*, *Cenchrus clandestinus*, *Cynodon* spp, *Lotus corniculatus* L e *Trifolium repens* L., sobresemado com *Lolium multiflorum* L. na estação fria. O experimento 1 seguiu um delineamento em blocos casualizados com arranjo fatorial 2x3, com três repetições por tratamento. Durante a estação quente, foram utilizados três doses de nitrogênio (50, 150 e 250 kg N . ha⁻¹) e duas alturas pré-pastejo (23 e 17 cm, pós-pastejo), e na estação fria, doses de 50 kg N. ha⁻¹ e manejo de 20 cm (pré pastejo, com mesma severidade de pastejo), sendo realizada análise de raízes das espécies de interesse. O experimento 2 seguiu um delineamento em blocos completos casualizados em arranjo fatorial 2x2 com quatro repetições por tratamento. Os fatores foram: (1) adubação realizada na estação fria, onde foram distribuídas doses de 50 e 150 kg de N e (2) adubação nitrogenada da estação quente, no qual foram utilizadas doses de 100 e 200 kg de N. sobre as doses já citadas, obtendo os seguintes tratamentos: Baixo-Inverno-Baixo-Verão (BIBV; 50 + 100 kg de N/ha), Baixo-Inverno-Alto-Verão (BIAV; 50 + 200 kg de N/ha), Alto-Inverno-Baixo-Verão (AIBV; 150+100 de N/ha) e Alto-Inverno-Alto-Verão (AIAV; 150 + 200 kg de N/ha), totalizando aplicações de 150, 250 e 350 kg N. ha⁻¹. ano⁻¹. Todas as unidades experimentais foram manejadas com altura de pré-pastejo em 20 cm, com 40% de severidade de desfolha. A densidade populacional de perfilhos foi obtida a partir de coleta de amostras representativas do pasto e contagem dos indivíduos de cada espécie. A dinâmica do fluxo de tecidos de capim-quicuiu e tifton 85 foi realizada em 20 perfilhos (dez de cada espécie) por unidade experimental. O acúmulo de forragem foi calculado a partir da taxa de expansão foliar diária por perfilho x densidade populacional de perfilhos x g.cm⁻¹ (fator de conversão). Os dados foram submetidos a análise de variância pelo pacote estatístico InfoStat, utilizando o procedimento MIXED e as médias testadas pelo teste de LSD Fisher com 5% de significância. Não houve diferença de acúmulo de forragem entre os tratamentos, porém diferentes estratégias de adubação nitrogenada modularam a dinâmica produtiva do pasto, afetando a contribuição relativa de cada espécie. *C. clandestinus* contribuiu de forma mais expressiva em ambientes com maior adubação na estação fria, sendo esta resposta atrelada a sua menor temperatura basal. Assim, foi observado que diferenças entre estas espécies possibilitaram sua coexistência e efetiva contribuição para o acúmulo de forragem, sendo esse modulado pelas estratégias de adubação utilizadas.

Palavras chave: Tifton 85. Capim-quicuiu. Estratégias de adubação nitrogenada . Acúmulo de forragem.

ABSTRACT

GISLON, Fernanda Cristina Schütz. **Understanding the coexistence and productive dynamics of *Cenchrus clandestinus* and *Cynodon* spp. cultivated in association.** 2025. 66 p. Dissertation (Master in Animal Science – Area: Animal Production). Santa Catarina State University. Postgraduate Program in Animal Science. Lages, 2025.

More diverse pasture ecosystems have shown to be a promising alternative to monocultures commonly used in livestock systems. The main production modulators in such pastures are grazing management and nitrogen fertilization, which are responsible for modifying the patterns of individual and community responses of plants. Thus, the objective of this study was to identify whether fertilization strategies and doses alter the functional patterns of plants and promote different contributions to forage accumulation in pastures composed mainly of *Cynodon* spp. and *Cenchrus clandestinus*. The pasture was formed by the species *Arachis pintoii*, *Cenchrus clandestinus*, *Cynodon* spp., *Lotus corniculatus* L. and *Trifolium repens* L., superseded with *Lolium multiflorum* L. in the cool season. Experiment 1 followed a randomized block design with a 2x3 factorial arrangement, with three replicates per treatment. During the warm season, three nitrogen rates (50, 150 and 250 kg N. ha⁻¹) and two pre-grazing heights (23 and 17 cm, post-grazing) were used, and in the cool season, rates of 50 kg N. ha⁻¹ and management of 20 cm (pre-grazing, with the same grazing severity) were used, with analysis of roots of the species of interest being performed. Experiment 2 followed a randomized complete block design in a 2x2 factorial arrangement with four replicates per treatment. The factors were: (1) fertilization carried out in the cool season, where doses of 50 and 150 kg of N were distributed and (2) nitrogen fertilization in the warm season, in which doses of 100 and 200 kg of N were used over the doses already mentioned, obtaining the following treatments: Low-Winter-Low-Summer (LWLS; 50 + 100 kg of N.ha⁻¹), Low-Winter-High-Summer (LWHS; 50 + 200 kg of N.ha⁻¹), High-Winter-Low-Summer (HWLS; 150 + 100 N.ha⁻¹) and High-Winter-High-Summer (HWHS; 150 + 200 kg of N.ha⁻¹), totaling applications of 150, 250 and 350 kg N. ha⁻¹. year⁻¹. All experimental units were managed with a pre-grazing height of 20 cm, with 40% defoliation severity. Tiller population density was obtained from representative pasture samples and counting of individuals of each species. The tissue flow dynamics of *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. was performed on 20 tillers (ten of each species) per experimental unit. Forage accumulation was calculated from the daily leaf expansion rate per tiller x tiller population density x g.cm⁻¹ (conversion factor). Data were subjected to analysis of variance by the InfoStat statistical package, using the MIXED procedure and the means tested by the Fisher LSD test with 5% significance. There was no difference in forage accumulation between treatments, but different nitrogen fertilization strategies modulated the productive dynamics of the pasture, affecting the relative contribution of each species. *C. clandestinus* contributed more significantly in environments with greater fertilization in the cold season, this response being linked to its lower basal temperature. Thus, it was observed that differences between these species allowed their coexistence and effective contribution to forage accumulation, which was modulated by the fertilization strategies used.

Key words: Tifton 85. Kikuyu grass. Nitrogen fertilization strategies. Forage accumulation.

LISTA DE FIGURAS

- Figure 1: LER (cm dd⁻¹) (white bars) and LSR (cm dd⁻¹) (black bars) per plant throughout the treatments LWLH (low-winter-low-summer), LWHS (low-winter-high-summer), HWLS (high-winter-low-summer) and HWHS (high-winter-high-summer) in (Figure 1.a) *C. clandestinus* and (Figure 1.b) *Cynodon* spp. Results are presented as mean $\pm$ standard error (n = 37)..... 52
- Figure 2: TPD, Tiller Population Density (tillers.m⁻²) throughout the treatments LWLH (low-winter-low-summer), LWHS (low-wintr-high-summer), HWLS (high-winter-low-summer) and HWHS (high-winter-high-summer) for *C. clandestinus* (white bars) and *Cynodon* spp. (black bars) The results are presented as mean $\pm$ standard error (n=40).....53
- Figure 3: Total forage biomass accumulation of the mixture (kg.ha⁻¹) throughout the treatments LWLH (low-winter-low-summer), LWHS (low-wintr-high-summer), HWLS (high-winter-low-summer) and HWHS (high-winter-high-summer) in (Figure 3.a) and forage biomass accumulation (kg ha⁻¹) for *C. clandestinus* (white bars) and *Cynodon* spp. (black bars). throughout the treatment period (Figure 3b). The results are presented as the mean $\pm$ standard error (n=35).....54

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Características de plantas agrupadas pela estratégia de crescimento ou grupo funcional em função do nível de fertilidade e desfolhação.....	26
---	----

Table 1. Descriptive metric values for functional traits of <i>C. clandestinus</i> and <i>Cynodon</i> spp.....	50
--	----

LISTA DE ABREVISATURAS

% - porcentagem
“C” – espécies competidoras
“R” – espécies ruderais
“S” – espécies estresse-tolerantes
AIAV – tratamento Alto-Inverno-Alto-Verão
AIBV – tratamento Alto-Inverno-Baixo-Verão
BIAV – tratamento Baixo-Inverno-Alto-Verão
BIBV – tratamento Baixo-Inverno-Baixo-Verão
BLG – balance leaf growth
C4 – mecanismo fotossintético
Ca – cálcio
CF – conversion factor
cm – centímetro
cmolc – centimol carga
DBC – delineamento em blocos casualizados
dd – degree-days
DM – dry matter
dm³ - decímetros cúbicos
DPP – densidade populacional de perfilhos
ha – hectare
HWHS – High-Winter-High-Summer treatment
HWLS – High-Winter-Low-Summer treatment
INN – índice de nutrição nitrogenada
K – potássio
kg – quilogramas
LAI – leaf area index
LAR – leaf appearance rate
LDMC – leaf dry matter content
LER – leaf elongation rate
LLS – leaf lifespan
Ln – number of leaves per tiller
LNC – leaf nitrogen content
LSR – leaf senescence rate
LWHS – Low-Winter-High-Summer treatment
LWLS – Low-Winter-Low-Summer treatment
m – metro
m² - metros quadrados
Mg – magnésio
mg – miligramas
mm – milímetros
MS – matéria seca
N – nitrogênio
Nc – nitrogênio crítico
NNI – nitrogen nutrition index
Ns – nitrogênio amostral
°C – graus Celsius
P – fósforo
pH- potencial hidrogeniônico
Ph – phyllocron

RDMC – root dry matter content
RTD – root tissue density
SLA – specific leaf area
SRA – specific root area
SRL – specific root lenght
T base – temperatura basal
T Max – temperatura máxima
T min – temperatura mínima
TER – tiller elongation rate
TPD – tiller population density

LISTA DE SÍMBOLOS

$Y_{[ij]}$ = random variable corresponding to j -th observation of the i -th treatment

μ = constant effect or global average

$\alpha_{[i]}$ = effect of treatment i -th treatment

$\beta_{[j]}$ = effect of treatment j -th treatment

$(\alpha\beta)_{ij}$ = the interaction of $i*j$ treatment*year

$\epsilon_{[ijk]}$ = error term

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1 ENTENDENDO ECOSSISTEMAS PASTORIS BIODIVERSOS	23
2.2 A IMPORTÂNCIA AGROECOLÓGICA DA BIODIVERSIDADE.....	25
2.3 COEXISTÊNCIA DE ESPÉCIES E CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS.....	26
2.4 O IMPACTO DA NUTRIÇÃO NITROGENADA EM PASTOS BIODIVERSOS	30
2.5 ESPÉCIES FORRAGEIRAS EM ESTUDO.....	31
2.5.1 <i>Cenchrus clandestinus</i>	31
2.5.2 <i>Cynodon</i> spp	32
3 HIPÓTESES.....	34
4 OBJETIVO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
5 UNDERSTANDING THE COEXISTENCE AND THE PRODUCTIVE DYNAMICS OF <i>Cenchrus clandestinus</i> AND <i>Cynodon</i> spp. CULTIVATED IN ASSOCIATION.....	43
5.1 ABSTRACT.....	43
5.2 INTRODUCTION.....	44
5.3 MATERIAL AND METHODS.....	45
5.3.1 Species, location and experimental period.....	45
5.3.2 Experiment I.....	46
5.3.2.1 Experimental design, treatments and management.....	46
5.3.2.2 Measurements and analysis.....	46
5.3.3 Experiment II.....	47
5.3.3.1 Experimental design, treatments and management.....	47
5.3.3.2 Measurements and analysis.....	48
5.3.4 Statistical Analysis.....	50
5.4 RESULTS.....	51
5.4.1 Individual traits – Morphogenesis and tissue flow.....	51
5.4.2 Population parameters – Tiller Population Density.....	54
5.4.3 Estimated Total Forage Accumulation.....	55

5.5 DISCUSSION.....57

5.6 CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS.....62

REFERENCES.....63

1 INTRODUÇÃO

Ecossistemas pastoris possuem um grande impacto econômico, ambiental e social, entregando diversos serviços ecossistêmicos para a humanidade. Segundo Reynolds *et al.* (2005), as pastagens são responsáveis, por exemplo, por contribuir para a subsistência de mais de 800 milhões de pessoas. Pastagens biodiversas combinam diferentes espécies forrageiras, permitindo maior complementariedade na captação de recursos e estabilidade produtiva do ecossistema (VIOLLE *et al.*, 2007).

A presença de indivíduos com nichos funcionais diferentes, além de características de crescimento espacial e temporal distintos, agrega ao sistema pastoril a qualidade de complementaridade, ou seja, possibilita a presença de plantas que se complementam na captação de recursos acima e abaixo do solo, otimizando a sua utilização e produzindo de forma mais eficiente.

A multifuncionalidade de ecossistemas pastoris biodiversos e o entendimento de suas singularidades e interações, bem como suas consequências no sistema produtivo como um todo têm suscitado grande interesse no meio científico, uma vez que o uso mais eficiente de recursos pode promover aspectos importantes associados a sustentabilidade, além de plasticidade a eventos adversos (PETERMANN; BUZHDIYGAN, 2021) e qualidade nutricional da pastagem (DINEEN *et al.*, 2018).

A utilização de leguminosas em pastagens também traz o benefício de fixação de nitrogênio para o sistema, podendo diminuir a necessidade de adubação com adubos nitrogenados sintéticos (LUSCHER *et al.*, 2014), o que também possui impacto positivo em questões ambientais relacionadas a lixiviação e poluição de águas. Sobre o aspecto de produção animal, um produto vegetal de melhor qualidade e com menor sazonalidade produtiva, influencia consideravelmente em toda a questão produtiva (carne e leite, por exemplo), reprodutiva e bem-estar do animal (PETERMANN, BUZHDIYGAN, 2021).

Assim, o estudo sobre pastagens diversas se mostra de grande importância, já que estas possuem impacto importante no meio agrônomo, ambiental, ecológico e pecuário e possibilitam associar múltiplos benefícios em um único sistema. Portanto, considerando que o manejo do pastejo e a aplicação de adubação nitrogenada são os principais moduladores de aspectos como composição botânica, estrutura e produção (BUGALHO *et al.*, 2011; SOUSSANA, LEMAIRE, 2014), é importante que as estratégias de manejo selecionadas possibilitem que as espécies eleitas se mantenham na área e participem efetivamente da mistura para que os benefícios da biodiversidade sejam potencializados.

Com base no exposto acima, este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto de diferentes estratégias de adubação nitrogenada em pastos biodiversos compostos por *Arachis pintoi*, *Cenchrus clandestinus*, *Cynodon spp.*, *Lotus corniculatus L.*, *Trifolium repens L.* e *Lolium multiflorum L.*. O foco foi analisar a dinâmica produtiva de *Cenchrus clandestinus* (capim-quicuiu) e *Cynodon spp.* (Tifton 85), forrageiras do mesmo grupo funcional, porém com dissimilaridades, e identificar manejos que favoreçam ecossistemas sustentáveis e produtivos. Além disso, buscou-se compreender a coexistência dessas espécies em um mesmo nicho ecológico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ENTENDENDO ECOSSISTEMAS PASTORIS BIODIVERSOS

Ecosystemas pastoris ocupam grande parte do território do planeta (SUTTIE, REYNOLDS, BATELLO, 2005) e apresentam a possibilidade de fornecer os mais diversos serviços ecossistêmicos ao local onde estão inseridos. Em sua grande maioria, pastagens para alimentação animal são monocultivo, e pastos agronomicamente mais diversos tem suscitado interesse crescente pela comunidade científica.

Ecosystemas pastoris diversos são sistemas onde encontramos duas ou mais plantas forrageiras, que podem apresentar características estruturais, morfológicas e funcionais distintas entre si e contribuir com características distintas ao meio (VIOLLE *et al.*, 2007). Dentro de arranjos forrageiros como este, é possível associar diversos benefícios relacionados às diferentes plantas eleitas, favorecendo a complementariedade do sistema.

A complementariedade em sistemas pastoris biodiversos é uma característica especialmente requerida por proporcionar importantes aspectos relacionados a capacidade do sistema absorver ou utilizar os recursos disponíveis acima (SPEHN *et al.*, 2000) e abaixo do solo (LANGE *et al.*, 2015) de forma mais eficiente.

Esta característica se prolonga para questões espaço-temporais, favorecendo a utilização dos recursos em diferentes estratos do dossel e do solo, bem como de diferentes épocas do ano. Acima do solo, essas diferentes estruturas arquitetônicas conferem uma ocupação mais eficiente dos espaços, otimizando a captação de recursos luminosos (NAEEM *et al.*, 1994) e, abaixo do solo, maior exploração pelas raízes, maximizando a absorção de nutrientes e água. Além disso, picos produtivos em épocas diferentes podem possibilitar ocupação temporal dos espaços em momentos que se complementam, permitindo a captação de recursos ao longo do ano de forma mais eficiente e homogênea, melhorando a estabilidade produtiva de forragem (GROSS *et al.*, 2014; HECTOR *et al.*, 2010).

A distribuição espacial e temporal surge como explicação para os efeitos de relação positiva entre biodiversidade e produtividade em sistemas pastoris (NAEEM *et al.*, 1994) estando ainda associada a uma maior estabilidade produtiva (GRIFFIN *et al.*, 2009; HECTOR *et al.*, 2010) menos susceptível a fatores abióticos, uma vez que pastos biodiversos possuem como característica uma maior resistência e

resiliência a perturbações, como descrito por Tilman e Downing (1994).

Além dos serviços ecossistêmicos comumente relacionados a pastagens biodiversas, como produtividade, qualidade nutricional e estabilidade produtiva, outros fatores positivos são associados ao sistema como um todo, como manutenção de diversidade de plantas e animais vertebrados ou invertebrados, saúde do solo, além de questões relacionadas à sustentabilidade e bem-estar do ser humano (WEIGELT, 2009).

Apesar dos pontos positivos relacionados aos sistemas mistos de pastagens, alguns aspectos pouco atraentes também devem ser levados em consideração para entender todo o quebra-cabeça envolvido na formação, implantação e manutenção de pastos com tais características. Apesar de, em teoria, a formação de tais arranjos parecer simples, o entendimento de sua funcionalidade em conjunto ainda é escassa e demanda de estudos mais aprofundados, principalmente relacionado as respostas advindas quando essas combinações são expostas a manejos de altura e adubação, por exemplo, que podem influenciar em sua biodiversidade e produtividade.

A formação destes sistemas demanda entendimentos relativos a arquitetura, fisiologia e morfologia das plantas candidatas a compor o meio, pois é através deles que a complementariedade do sistema é atingida. Um sistema eficiente seria composto por plantas que conseguissem preencher de forma eficiente os diferentes estratos do dossel de forma horizontal e com as raízes atingindo diferentes profundidades no solo, quanto vertical, compondo a produção em diferentes etapas ao longo do ano, maximizando a captação de recursos disponíveis, e evitando sua competição e permitindo sua coexistência. Além desses aspectos de escolha dos componentes por si só, o pensamento de sua estrutura se prolonga além e se entrelaça com a necessidade de conhecimento do seu objetivo-fim, ou seja, os objetivos requeridos em um sistema produtivo e/ou com os animais expostos a ele e que, se utilizado com plantas forrageiras perenes seja capaz de persistir ao longo dos anos de utilização.

Outro desafio associado aos sistemas de pastagens biodiversas, é relacionado ao entendimento de como manejá-los. Entender as necessidades nutricionais e de manejo de altura destas pastagens e como supri-las de forma eficiente é de grande importância para a manutenção produtiva e da biodiversidade (FRAME, NEWBOULD, 1986; PLANTUREUX, PEETERS, McCracken, 2005). O manejo correto, tanto do pastejo quanto de adubação, principalmente através de

práticas agrícolas sustentáveis, possibilita a sua intensificação produtiva associada ao fornecimento de serviços ecossistêmicos (BUGALHO *et al.*, 2011; SOUSSANA, LEMAIRE, 2014), devendo ser esquematizado de forma única para cada sistema.

2.2 A IMPORTÂNCIA AGROECOLÓGICA DA BIODIVERSIDADE

A biodiversidade resulta da coexistência e inter-relação entre os organismos e as condições edafoclimáticas ao longo do tempo (NABINGER, DALL'AGNOL, CARVALHO, 2006). Ela pode ser avaliada em diferentes escalas e está positivamente associada à oferta de serviços ecossistêmicos, pois ecossistemas mais diversos tendem a fornecer maiores benefícios ambientais e produtivos (TILMAN *et al.*, 1997; HECTOR *et al.*, 1999; ROSCHER *et al.*, 2005; WEIGELT, 2009).

Relacionado a biodiversidade encontrada em ecossistemas pastoris multiespecíficos, diversos estudos indicam a grande gama de serviços que provem de arranjos como este, sendo observado não apenas benefícios produtivos, como também benefícios relacionados a ecologia e manutenção de equilíbrio do sistema, além dos chamados serviços não mercantis (WEIGELT, 2009; PETERMANN; BUZHDIYGAN, 2021).

Dentro dos serviços ofertados por sistemas pastoris biodiversos, os mais comumente associados são os benefícios agronômicos. Estes são relacionados à produtividade animal e vegetal que potencialmente são atingidos sobre estes arranjos, melhora da qualidade nutricional da pastagem (DINEEN *et al.*, 2018), e melhora dos produtos, como leite e carne, oriundos de animais mantidos sobre este pasto (PETERMANN; BUZHDIYGAN, 2021). Além destas características, autores indicam que estas pastagens são capazes de promover uma maior estabilidade produtiva, quando comparado a sistemas de monocultivo, além de resistência e resiliência aos estresses ambientais, ofertando uma maior plasticidade aos eventos adversos aos quais são expostos (PETERMANN; BUZHDIYGAN, 2021; FRANK, MCNAUGHTON, 1991). Outros serviços de regulação obtidos são a resistência a plantas invasoras, incentivo a polinização e dispersão de sementes (PETERMANN; BUZHDIYGAN, 2021).

Aspectos ecológicos também são positivamente associados a pastagens multiespecíficas, sendo observados estudos relacionando menor emissão de gases de efeito estufa nestes sistemas (SHCHERBAK; MILLAR; ROBERTSON, 2014),

além da possibilidade da menor utilização de adubação nitrogenada sintética (LUSCHER *et al.*, 2014), que favoreceria a diminuição da lixiviação e contaminação de lençóis freáticos, assim possibilitando uma cadeia produtiva mais sustentável.

A complementariedade arquitetônica das mais diversas plantas que podem compor essa pastagem, favorece a otimização dos recursos disponíveis acima e abaixo do solo, promovendo uma utilização mais eficiente e consciente da energia disponível (PETERMANN; BUZHDIYGAN, 2021). A maior diversidade de espécies em pastagens também foi associada a medidas de saúde do solo, como teor de umidade do solo, armazenamento em grande escala de carbono e ciclagem de nutrientes (HEWINS *et al.*, 2018), e alta abundância de invertebrados no solo (NORTON *et al.*, 2022).

Sistemas pastoris com altos níveis de biodiversidade, seja em termos de riqueza de espécies ou estrutura física do pasto, possibilitam uma biodiversidade mais ampla dentro do ecossistema, ao fornecer habitat, reprodução e oportunidades de alimentação para uma variedade de espécies (BULLOCK *et al.*, 2011).

Relacionado aos serviços não mercantis, estes estão ligados a questões mais intimistas promovidas por sistemas pastoris biodiversos, como o bem estar humano, promovendo alimento, saúde, bem estar espiritual e estético (PETERMANN; BUZHDIYGAN, 2021). Pastagens estão distribuídas mundialmente e são altamente capazes de se adaptar as necessidades humanas, não apenas produtivas, mas também de necessidades culturais, como recreação, turismo, além de proporcionar inspiração, valor estético e manutenção de tradições rurais e comunidades (HIRATA, 2005). Também são observados na utilização de recurso de fibras para a produção de papel e materiais de construção e fonte de extratos para fabricação de produtos farmacêuticos (HIRATA, 2005).

2.3 CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E COEXISTÊNCIA DE ESPÉCIES

Como explanado, recomenda-se que as espécies escolhidas para compor o dossel forrageiro de um pasto biodiverso apresentem alguma dissimilaridade entre si, seja em aspectos arquitetônicos, funcionais ou até dissimilaridades singulares para que possam se manter a longo prazo, em equilíbrio e serem capazes, em conjunto, de otimizar a utilização dos nutrientes disponíveis.

Nesse aspecto, Sanderson *et al.* (2004) afirmaram que mais importante que o número de espécies em uma mistura, é a contribuição que cada uma consegue prover na composição do dossel forrageiro, mesmo que de maneira adjacente, ou seja, mais importa a escolha correta das espécies para uma captação eficiente de recursos em âmbito espaço-temporal, do que o número de espécies, muitas vezes apresentando competitividade entre si.

As características biológicas (velocidade de crescimento, absorção de nutrientes, tolerância ao pastejo, entre outros) que as espécies vegetais apresentam dentro da população estão correlacionadas com a função que desempenham dentro do sistema. Tais características intrínsecas são utilizadas para a classificação do tipo ou grupo funcional que a espécie apresenta (CRUZ *et al.*, 2002).

Por meio de observações que relacionavam a presença de espécies vegetais com o tipo de habitat avaliado, Grime (1974) classificou a vegetação em três grupos funcionais: espécies competidoras “C”, espécies estresse-tolerante “S” e ruderais “R” (plantas daninhas). Além disso, o pesquisador constatou a ocorrência de algumas espécies vegetais em regiões de transição entre classificações, sugerindo que uma mesma planta poderia apresentar mais de um grupo funcional, como por exemplo, espécie competidora-ruderal (C-R) (GRIME, 1977).

Diferentemente dos estudos ecológicos clássicos, Cruz *et al.* (2002) propôs uma classificação específica para plantas forrageiras baseada na avaliação simultânea de duas características: o grupo funcional e as características agronômicas que a espécie apresenta. O grupo funcional correlaciona-se com o “papel” que a planta desempenha dentro da comunidade, e as características agronômicas estão associadas com aspectos produtivos.

Segundo Cruz *et al.* (2002) uma planta pode possuir a habilidade em adquirir recurso e a capacidade de adaptar-se a desfolhação. Dentro da estratégia de aquisição de recurso, a espécie pode ser competidora ou conservadora. Já a capacidade de adaptação a desfolhação refere-se à plasticidade fenotípica apresentada pela espécie. A partir da interação entre as características de obtenção e utilização de recurso e adaptativas a desfolhação originam quatro grupos funcionais de espécies forrageiras dentro do sistema pastoril (Tabela 1).

Tabela 1. Características de plantas agrupadas pela estratégia de crescimento ou grupo funcional em função do nível de fertilidade e desfolhação.

Captação de recurso (ambientes férteis)		Conservação de recurso (ambientes pobres)
Tipo A		Tipo C
Rápida ciclagem de tecidos; Desfolhação frequente e severa	Taxa de crescimento elevada;	Baixa taxa de crescimento;
	Pico de crescimento atingido rapidamente;	Pico de crescimento atingido tardiamente;
	Digestibilidade e teores de nutrientes elevado;	Baixa digestibilidade e teores de nutrientes;
	Baixa eficiência de utilização dos minerais do solo.	Alta eficiência de utilização dos minerais do solo.
Tipo B		Tipo D
Lenta ciclagem de tecidos; Desfolhação pouco frequente e leniente	Taxa de crescimento elevada;	Baixa taxa de crescimento;
	Pico de crescimento atingido tardiamente;	Pico de crescimento atingido tardiamente;
	Digestibilidade e teores de minerais satisfatórios;	Baixíssima digestibilidade e teores de nutrientes;
	Moderada eficiência de utilização dos minerais do solo.	Elevada eficiência de utilização dos minerais do solo.

Adaptado de Cruz *et al.* (2002).

Barreta *et al.* (2023) observaram que em uma pastagem mista, composta por gramíneas com as mesmas características morfológicas e fisiológicas também

podem promover a coexistência entre elas. Isso corrobora que, independentemente da finalidade para qual o sistema será construído, este deve levar em conta a capacidade combinatória de espécies, como por exemplo, taxas de crescimento, estatura, arquitetura e requerimentos de recursos, além de componentes dinâmicos que incluem mudanças nas relações entre as espécies em função das variações de suas taxas de crescimentos e o uso de recursos por meio de diferentes mecanismos (EWEL, MAZZARINO, 2008).

O conhecimento mais aprofundado das características das plantas e como elas comporiam o sistema de forma mais eficiente, nos leva a entender melhor as escolhas de cada uma e sua efetiva contribuição. Segundo a hipótese da similaridade limitante (MaCARTHUR e LEVINS, 1967), espécies com características parecidas não podem coexistir localmente devido à competição pelos recursos mais limitados até um limite de similaridade, ou seja, é indispensável a presença de dissimilaridades/diferenças entre elas, sendo em aspectos de arquitetura, pico produtivo, grupo funcional/captação de recursos, por exemplo, para que elas possam existir concomitantemente e em equilíbrio, impactando o sistema produtivo como um todo e de forma diversa.

A coexistência ou exclusão das espécies ocorre devido à limitação por recursos comuns, como nutrientes, água e luz e a competição intensificada por esses recursos em um mesmo espaço e tempo eleva o risco de exclusão de espécies (MacArthur e Levins, 1967), reduzindo a biodiversidade do sistema. A existência dessa exclusão por utilização de nichos em comum, seja de espaço ou de recursos, levou ao crescente interesse por parte da comunidade científica em entendê-la dentro de sistemas produtivos, bem como as melhores formas de manejo e combinação de plantas para maximizar o potencial gerado a partir destes conhecimentos dentro da cadeia produtiva.

As respostas das espécies às condições ambientais propostas, perturbações e interações bióticas, bem como seus efeitos nos processos do ecossistema, são determinadas por suas características funcionais (MOUILLOT *et al.*, 2013; EDWARDS; LITCHMAN; KLAUSMEIER, 2012). As características funcionais das plantas são definidas como as características que afetam a aptidão geral da planta por meio de seus efeitos no crescimento, reprodução e sobrevivência das plantas (VIOLLE *et al.*, 2007; CARMONA *et al.*, 2016).

Estas características são relacionadas a morfologia, fisiologia e fenologia

mensurável a nível do indivíduo, da célula ao nível do organismo inteiro, sem referência ao ambiente ou qualquer outro nível de organização (VIOLLE *et al.*, 2007). Estudos com estas características funcionais podem ser utilizados para observação de impactos das mudanças globais na biodiversidade e na prestação de serviços ecossistêmicos (DÍAZ *et al.*, 2007; LALIBERTÉ *et al.*, 2010; GAGIC *et al.*, 2015), restauração ecológica (CADOTTE *et al.*, 2011) ou a montagem de comunidades biológicas (EDWARDS *et al.*, 2013; GÖTZENBERGER *et al.*, 2012). O conhecimento das características morfológicas, fisiológicas e de história de vida das espécies-alvo pode ser necessário para explicar a interação entre espécies em uma pastagem mista (TREMMELE, BAZZAZ, 1993), bem como o impacto do manejo sobre sua produtividade e persistência.

2.4 O IMPACTO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM PASTOS BIODIVERSOS

Em relação à adubação, o Nitrogênio (N) é o nutriente que mais limita a produção de gramíneas forrageiras, influenciando no seu crescimento, desenvolvimento e produtividade, sendo então considerado um provedor de recursos para o desenvolvimento de tais plantas (WHITEHEAD *et al.*, 1995). Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade desse nutriente é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER, MUNDSTOCK, 2000). O N encontra-se no solo essencialmente na forma orgânica (aproximadamente 98%); a outra pequena parte encontra-se nas formas minerais de amônio, nitrato e nitrito (ALFAIA, 2006).

Segundo Lawlor, Lemaire e Gastal (2001), o N é necessário para a síntese de proteínas, tanto estrutural como enzimática e as plantas podem apresentar diferentes níveis de N em seus tecidos, além de demonstrarem exigências diferentes desse mineral conforme a espécie; de maneira geral, folhas apresentam maior conteúdo de N comparado a órgãos estruturais como colmos e raízes. Em questões individuais, Gastal e Lemaire (2002) explanam que os efeitos aparentes do N nas plantas expressam-se na expansão, no aparecimento e na duração da expansão das folhas. Dessa forma, o nitrogênio tem capacidade de melhorar a produção, a qualidade e a produtividade dos sistemas agrícolas (LAWLOR; LEMAIRE; GASTAL, 2001).

Segundo Hautier *et al.* (2009), adubação com altas doses de nitrogênio é responsável por reduzir a diversidade em pastos mistos, especialmente por meio da

redução de leguminosas (SOUSSANA e OLIVEIRA MACHADO, 1999). Mazzanti; Lemaire e Gastal (1994) relatam que, sob condições de alta disponibilidade de nitrogênio, devido a uma maior competição por luz determinada pelo aumento da taxa de alongamento foliar e pelo maior tamanho final das folhas, em geral, ocorre uma redução na duração de vida da folha. Contudo, a adição ou não de N em cultivos multiespecíficos não são claros sobre seus efeitos no aumento ou diminuição de espécies, dado que o N está sujeito à competição intra e interespecífica (CRUZ; SOUSSANA, 1997) e que apresenta grande interação com o manejo de desfolhação adotado (BORER et al., 2015).

Niu *et al.* (2014) indicaram a influência da adubação nitrogenada sobre a expressão de características funcionais de plantas, sendo demonstrado que em ambientes melhor adubados há uma maior diversidade funcional, tornando as espécies presentes mais distintas. Barreta *et al.* (2023), no entanto, observaram uma maior dissimilaridade em plantas pertencentes ao mesmo nicho ecológico quando eram submetidas a tratamentos de menor dose de N, indicando uma possível capacidade de adaptação fisiológica destas plantas em ambientes mais desafiadores. Além disso, o aumento na disponibilidade de nutrientes afeta drasticamente ou fortemente a estrutura e composição da comunidade (GOUGH *et al.*, 2000; STEVENS *et al.*, 2004), por mudanças na composição florística (estratégias adaptativas das espécies em coexistência, muitas vezes modificando a forma de utilização dos recursos captados) (MaCARTHUR, WILSON, 1967; GRIME, 1974).

Deste modo, entender a dinâmica de morfogênese e fluxo de tecidos das espécies envolvidas sob o uso de diferentes doses de nitrogênio é estritamente necessário para a elaboração de recomendações de manejo que possam garantir os objetivos propostos de estabilidade e alta produção forrageira em ambientes pastoris mistos (GUY *et al.*, 2018; TAMELE *et al.*, 2017), principalmente àqueles que envolvem mais de duas espécies, e que consequentemente são mais complexos de manejar (WOODWARD *et al.*, 2013).

2.5 PLANTAS FORRAGEIRAS EM ESTUDO

2.5.1 *Cenchrus clandestinus*

Sendo originado de terras elevadas da África, ocorrendo na Eritréia, Etiópia, Quênia, Uganda, Congo, Tanzânia e Moçambique, foi trazido ao Brasil em 1924,

sendo bem recebido pelos pecuaristas brasileiros (ASSEF, 2001). Um dos primeiros registros desta espécie foi obtido na REVISTA DA AGRICULTURA (1928), onde destacava pontos positivos do capim-quicuiu: como rusticidade, resistência ao frio e à seca, adaptabilidade a diferentes ambientes e facilidade de brotação.

O capim-quicuiu (*Cenchrus clandestinus* Hochst. Ex Chiov) é uma gramínea perene de verão, C₄, estolonífera e rizomatosa que apresenta colmos curtos de longos estolões (HANNA *et al.*, 2004). Sensível a seca e moderadamente tolerante a geadas, possui temperatura basal em torno de 8°C (COLMAN, O'NEILL, 1978). Possui bom desenvolvimento em regiões com índices pluviométricos entre 1000 e 1600 mm por ano (MEARS, 1970). Tolerante pH de solo de até 4,5 e fertilidade mediana e é uma planta caracterizada como competidora de recursos (MOORE *et al.*, 2006; FONTANELI *et al.*, 2012). Em manejo de desfolha moderada (<50% altura pré pastejo), como detalhado por SBRISSIA *et al.* (2018), tolera altura para pastejo entre 15 e 25 cm, na região Sul do Brasil a sua produção concentra-se entre os meses de dezembro a maio, possuindo um período de dormência durante o inverno (LOWE, HUME, FULKERSON, 2011), e rebrotando no início da primavera.

Segundo HUMPHREYS (1974), o capim-quicuiu também apresentou características importantes como resistência ao pastejo severo e excelente contribuição para o controle de erosão.

2.5.2 *Cynodon spp*

A planta forrageira Tifton 85 pertence ao gênero *Cynodon* spp., sendo oriunda de um cruzamento entre cultivar tifton 68 com uma introdução PI-290884, oriundo da África do Sul (BURTON *et al.*, 1967), sendo desenvolvido no Coastal Plain Experiment Station, da Universidade da Geórgia. Os primeiros registros de utilização deste gênero para pastejo na América, foi em meados de 1751, quando governador Henry Hellisem trouxe um exemplar de capim-bermuda (*Cynodon dactylon*) para o sudeste dos EUA, se tornando um dos gêneros mais importantes utilizados para a produção a pasto neste país.

Este híbrido é bem adaptado a climas tropicais e subtropicais, possuindo uma temperatura basal em torno de 10°C (OLIVEIRA *et al.*, 2000), sendo uma gramínea perene de verão, C₄. Possui hábito de crescimento prostrado, é estolonífero e rizomatoso, e bem adaptado a invernos moderadamente frios. Requer um pH de solo

de pelo menos 5,5 e é altamente responsivo a fertilização de nitrogênio, produzindo quantidades elevadas de forragem (FONTANELI *et al.*, 2012), com boa qualidade nutricional (PEDREIRA, 2010). Além disso, possuem boa flexibilidade de manejo (SOHM *et al.*, 2014), sendo recomenda altura de pré pastejo de 20 cm (MEZZALIRA *et al.*, 2014).

Durante experimento desenvolvido por Barreta *et al.* (2023), foi observado a presença harmoniosa de *Cenchrus clandestinus* e *Cynodon* spp em um mesmo ecossistema pastoril por mais de três anos. Segundo o mesmo autor foi constatado uma prevalência de dossel de mais de 85% por essas espécies, durante a estação quente, com participação equivalente de ambas.

Cenchrus clandestinus e *Cynodon* spp. compartilham características como hábito de crescimento estolonífero e rizomatoso, fisiologia C4, são gramíneas perenes estivais, possuem recomendações de manejo idênticas e se adaptam bem em ambientes férteis. A partir destas descrições e dos conhecimentos de MacArthur e Levis (1967) sobre similaridade limitante, imaginou-se que essas similaridades poderiam limitar a coexistência entre elas em um mesmo ambiente. No entanto, Barreta *et al.* (2023) não apenas observaram sua coexistência como também afirmaram que o manejo pode ser uma abordagem eficaz para estabilizar a população de qualquer uma dessas espécies quando cultivadas em associação. Assim, levantou-se o questionamento de que, se elas são tão parecidas, como conseguiriam coexistir? E além, como o manejo poderia interferir neste equilíbrio e influenciar na produção de forragem?

3 HIPÓTESE

Incrementos na dose de adubação nitrogenada, independente da estratégia de adubação, aumentam a contribuição da produção de forragem advinda do *C. clandestinus* e *Cynodon* spp., de forma desproporcional entre as espécies, favorecendo a ocupação tridimensional de *C. clandestinus*.

4 OBJETIVO

Objetivo Geral:

Determinar estratégias e doses de adubação nitrogenada que mantenham proporções similares de contribuição na produção de matéria seca em pastos compostos por *Cynodon* spp. (Tifton 85) e *Cenchrus clandestinus* (Capim-quicuiu).

REFERÊNCIAS

- ADLER, P. B.; SALGUERO-GÓMEZ, R.; COMPAGNONI, A.; HSU, J. S.; RAY-MUKHERJEE, J.; MBEAU-ACHE, C.; FRANCO, M. (2013). Traits funcionais explicam a variação nas estratégias de história de vida de plantas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(2), 740-745. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315179111>
- ALFAIA, S. S. (2006). Caracterização e distribuição das formas de nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 36(2), 135-140. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672006000200001>
- BARRETA, D. A.; WINTER, F. L.; GISLON, F. C. S.; SOLLENBERGER, L. E.; SBRISSIA, A. F. (2023). Manejo de um pasto misto para manter a diversidade de espécies e funcional. *European Journal of Agronomy*, 149, 126883. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126883>
- BORER, E. T.; SEABLOOM, E. W.; SHURIN, J. B.; ANDERSON, K. L. A multi-site, multi-year experiment assessing the effects of nitrogen enrichment on plant community composition. *Ecology Letters*, v. 18, n. 9, p. 908-919, set. 2015. <https://doi.org/10.1111/ele.12464>.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, v. 30, n. 2, p. 365-372, abr. 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782000000200029>.
- BUGALHO, M. N.; CALDEIRA, M. C.; PEREIRA, J. S.; ARONSON, J.; PAUSAS, J. G. Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 9, n. 5, p. 278-286, 10 mar. 2011. <http://dx.doi.org/10.1890/100084>.
- BULLOCK, J. M.; JEFFERSON, R. G.; BLACKSTOCK, T. H.; PAKEMAN, R. J.; EMMETT, B. A.; PYWELL, R. J.; GRIME, J. P.; SILVERTOWN, J. Semi-natural grasslands. *Technical report: The UK National Ecosystem Assessment*. UNEP-WCMC, 2011.
- BURTON, G. W.; HART, R. H.; LOWREY, R. S. Improving forage quality by breeding. *Crop Science*, v. 7, n. 4, p. 329-332, 1967.
- CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCNICK, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology*, v. 48, n. 5, p. 1079-1087, 19 ago. 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>.
- CARMONA, C. P.; BELLO, F. de; MASON, N. W. H.; LEPL, J. Traits Without Borders: integrating functional diversity across scales. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 31, n. 5, p. 382-394, maio 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.003>.
- COLMAN, R. L.; O'NEILL, G. H. Seasonal variation in the potential herbage production and response to nitrogen by kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *The Journal of*

Agricultural Science, v. 91, n. 1, p. 81-90, ago.

1978. <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859600056641>.

CRUZ, P.; SOUSSANA, J. F. Mixed Crops. In: LEMAIRE, G. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Berlin: Springer-Verlag, 1997. p. 131-145.

CRUZ, P.; DURU, M.; THÉRON, O.; THEAU, J.; DUCOURTIEUX, C.; JOUANY, C.; KHALED, R. A. H.; ANSQUER, P. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. *Fourrages*, v. 172, p. 1-15, 2002.

DÍAZ, S.; LAVOREL, S.; BELLO, F. de; QUÉTIÉ, F.; GRIGULIS, K.; ROBSON, T. M. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 104, n. 52, p. 20684-20689, 26 dez. 2007. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0704716104>.

DINEEN, M.; DELABY, L.; GILLILAND, T.; MCCARTHY, B. Meta-analysis of the effect of white clover inclusion in perennial ryegrass swards on milk production. *Journal of Dairy Science*, v. 101, n. 2, p. 1804-1816, fev. 2018. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2017-12586>.

EDWARDS, K. F.; LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C. A. Functional traits explain phytoplankton community structure and seasonal dynamics in a marine ecosystem. *Ecology Letters*, v. 16, n. 1, p. 56-63, 4 out. 2012. <http://dx.doi.org/10.1111/ele.12012>.

EWEL, J. J.; MAZZARINO, M. J. Competition from below for light and nutrients shifts productivity among tropical species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 105, n. 48, p. 18836-18841, 2 dez. 2008. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0807216105>.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. *Forrageiras para Integração Lavoura-Pecuária-Floresta na Região Sul-brasileira*. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2012. 544 p.

FRANK, D. A.; MCNAUGHTON, S. J. Stability increases with diversity in plant communities: empirical evidence from the 1988 Yellowstone drought. *Oikos*, v. 62, n. 3, p. 360, dez. 1991. <http://dx.doi.org/10.2307/3545501>.

GAGIC, V.; BARTOMEUS, I.; JONSSON, T.; TAYLOR, A.; WINQVIST, C.; FISCHER, C.; SLADE, E. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; EMMERSON, M.; POTTS, S. G. Functional identity and diversity of animals predict ecosystem functioning better than species-based indices. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 282, n. 1801, p. 20142620, 22 fev. 2015. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.2620>.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, n. 370, p. 789-799, 15 abr. 2002. <http://dx.doi.org/10.1093/jexbot/53.370.789>.

GÖTZENBERGER, L.; BELLO, F. de; BRÄTHEN, K. A.; DAVISON, J.; DUBUIS, A.; GUISAN, A.; LEPL, J.; LINDBORG, R.; MOORA, M.; PÄRTEL, M. Ecological assembly rules in plant communities—approaches, patterns and prospects. *Biological*

Reviews, v. 87, n. 1, p. 111-127, 21 jun. 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00187.x>.

GOUGH, L.; OSENBERG, C. W.; GROSS, K. L.; COLLINS, S. L. Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities. *Oikos*, v. 89, n. 3, p. 428-439, jun. 2000. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.890302.x>

GRIFFIN, J. N.; O'GORMAN, E. J.; EMMERSON, M. C.; JENKINS, S. R.; KLEIN, A.-M.; LOREAU, M.; SYMSTAD, A. Biodiversity and the stability of ecosystem functioning. In: *Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing*. Oxford University Press, p. 78-93, 30 jul. 2009. <http://dx.doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199547951.003.0006>.

GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, p. 1169-1194, nov. 1977.

GRIME, J. P. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, v. 250, n. 5461, p. 26-31, jul. 1974. <http://dx.doi.org/10.1038/250026a0>.

GROSS, K.; CARDINALE, B. J.; FOX, J. W.; GONZALEZ, A.; LOREAU, M.; POLLEY, H. W.; REICH, P. B.; VAN RUIJVEN, J. Species richness and the temporal stability of biomass production: a new analysis of recent biodiversity experiments. *The American Naturalist*, v. 183, n. 1, p. 1-12, jan. 2014. <http://dx.doi.org/10.1086/673915>.

GUY, C.; HENNESSY, D.; GILLILAND, T. J.; COUGHLAN, F.; MCCARTHY, B. Growth, morphology and biological nitrogen fixation potential of perennial ryegrass-white clover swards throughout the grazing season. *The Journal of Agricultural Science*, v. 156, n. 2, p. 188-199, mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859618000199>.

HANNA, W. W. et al. Perennial Pennisetums. In: AL-AMOUDI, L. K. et al. (Eds). *Warm-season (C4) grasses*. Madison, USA, n. 45, 2004, p. 503-535.

HECTOR, A.; HAUTIER, Y.; SANER, P.; WACKER, L.; BAGCHI, R.; JOSHI, J.; SCHERER-LORENZEN, M.; SPEHN, E. M.; BAZELEY-WHITE, E.; WEILENMANN, M. General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding. *Ecology*, v. 91, n. 8, p. 2213-2220, ago. 2010. <http://dx.doi.org/10.1890/09-1162.1>.

HECTOR, A.; SCHMID, B.; BEIERKUHNLEIN, C.; CALDEIRA, M. C.; DIEMER, M.; DIMITRAKOPOULOS, P. G.; FINN, J. A.; FREITAS, H.; GILLER, P. S.; GOOD, J. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science*, v. 286, n. 5442, p. 1123-1127, 5 nov. 1999. <http://dx.doi.org/10.1126/science.286.5442.1123>.

HEWINS, D. B.; LYSENG, M. P.; SCHODERBEK, D. F.; ALEXANDER, M.; WILLMS, W. D.; CARLYLE, C. N.; CHANG, S. X.; BORK, E. W. Grazing and climate effects on soil organic carbon concentration and particle-size association in northern grasslands. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 1336, 22 jan. 2018. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-19785-1>.

HIRATA, M. Forage crop production. In: The management of natural resources in satisfying the need for human life: The role of agriculture, forestry and fisheries in human nutrition, from *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Developed under Auspices of the UNESCO, EOLSS Publishers, Oxford, UK.

HUMPHREYS, L. R. *A guide to better pastures for the tropics and sub-tropics*. 3. ed. Wright Stephenson & Co., 1974. 95 p.

HUNT, B.; PRATT, E.; GADAGKAR, V.; YAMASHITA, M.; BALATSKY, A. V.; DAVIS, J. C. Evidence for a Superglass State in Solid ^{44}He . *Science*, v. 324, n. 5927, p. 632-636, maio 2009. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1169512>.

LALIBERTÉ, É.; WELLS, J. A.; DECLERCK, F.; METCALFE, D. J.; CATTERALL, C. P.; QUEIROZ, C.; AUBIN, I.; BONSER, S. P.; DING, Y.; FRATERRIGO, J. M. Land-use intensification reduces functional redundancy and response diversity in plant communities. *Ecology Letters*, v. 13, n. 1, p. 76-86, 21 dez. 2009. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01403.x>.

LANGE, M.; EISENHAUER, N.; SIERRA, C. A.; BESSLER, H.; ENGELS, C.; GRIFFITHS, R. I.; MELLADO-VÁZQUEZ, P. G.; MALIK, A. A.; ROY, J.; SCHEU, S. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, v. 6, n. 1, p. 7707, 7 abr. 2015. <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms7707>.

LAWLOR, D. W.; LEMAIRE, G.; GASTAL, F. Nitrogen, plant growth and crop yield. In: LEIA, P. J. (Ed.). *Plant Nitrogen*. Springer, 2001, p. 343–367.

LOWE, K. F.; HUME, D. E.; FULKERSON, W. J. Forages and pastures | Perennial forage and pasture crops – species and varieties. In: *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Elsevier, 2011, p. 576-585. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-374407-4.00195-3>.

LÜSCHER, A.; MUELLER-HARVEY, I.; SOUSSANA, J. F.; REES, R. M.; PEYRAUD, J. L. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, v. 69, n. 2, p. 206-228, 16 abr. 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/gfs.12124>.

MACARTHUR, R.; LEVINS, R. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *The American Naturalist*, v. 101, n. 921, p. 377–385, set. 1967. JSTOR. <http://www.jstor.org/stable/2459090>.

MAZZANTI, A.; LEMAIRE, G. Effect of nitrogen fertilization on herbage production of tall fescue swards continuously grazed by sheep. 2. Consumption and efficiency of herbage utilization. *Grass and Forage Science*, v. 49, n. 3, p. 352-359, set. 1994. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2494.1994.tb02010.x>.

MEARS, P. T. Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass: a review. *Tropical Grasslands*, v. 4, n. 2, p. 139–152, 1970.

MEZZALIRA, J. C.; CARVALHO, P. C. de F.; FONSECA, L.; BREMM, C.; CANGIANO, C.; GONDA, H. L.; LACA, E. A. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 153, p. 1-9, abr. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>.

MOORE, G.; SANFORD, P.; WILEY, T. *Perennial Pastures for Western Australia*, Perth, 2006.

MOUILLOT, D.; GRAHAM, N. A. J.; VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; BELLWOOD, D. R. A functional approach reveals community responses to disturbances. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 28, n. 3, p. 167-177, mar. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.004>.

NABINGER, C.; DALL'AGNOL, M.; CARVALHO, P. C. de F. Biodiversidade e produtividade em pastagens. In: *XXIII Simpósio sobre Manejo da Pastagem*, 2006, Piracicaba. Anais 23 Simpósio sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 87-138.

NAEEM, S.; THOMPSON, L. J.; LAWLER, S. P.; LAWTON, J. H.; WOODFIN, R. M. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature*, v. 368, n. 6473, p. 734-737, abr. 1994. <http://dx.doi.org/10.1038/368734a0>.

NIU, K.; CHOLER, P.; BELLO, F. de; MIROTECHNICK, N.; DU, G.; SUN, S. Fertilization decreases species diversity but increases functional diversity: a three-year experiment in a Tibetan alpine meadow. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 182, p. 106-112, jan. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.07.015>.

NORTON, L. R.; MASKELL, L. C.; WAGNER, M.; WOOD, C. M.; PINDER, A. P.; BRENTAGANI, M. Can pasture-fed livestock farming practices improve the ecological condition of grassland in Great Britain? *Ecological Solutions and Evidence*, v. 3, n. 4, p. 1-14, out. 2022. <http://dx.doi.org/10.1002/2688-8319.12191>.

OLIVEIRA, M. A.; PEREIRA, O. G.; MARTINEZ Y HUAMAN, C. A.; GARCIA, R.; GOMIDE, J. A.; CECON, P. R.; SILVEIRA, P. R. de. Características morfogênicas e estruturais do capim-bermuda “Tifton 85” (*Cynodon* spp.) em diferentes idades de rebrota. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 6, p. 1939-1948, 2000.

PEDREIRA, C. G. S. Gênero *Cynodon*. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (Eds.). *Plantas Forrageiras*. Viçosa, MG: UFV, 2010. p. 78-130.

PETERMANN, J. S.; BUZHDIYGAN, O. Y. Grassland biodiversity. *Current Biology*, v. 31, n. 19, p. 1195-1201, out. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.060>.

PLANTUREUX, S.; PEETERS, A.; MCCracken, D. I. Biodiversity in intensive grasslands: effect of management, improvement and challenges. *Agronomy Research*, (S.I), v. 3, p. 417-426, 2005.

REVISTA DE AGRICULTURA. Uma gramínea irmã do capim elefante. *Piracicaba*, v. 3, n. 1 e 2, p. 65-66, 1928.

REYNOLDS, S. G.; BATELLO, C.; BAAS, S.; MACK, S. Grassland and forage to improve livelihoods and reduce poverty. In: *Grassland: a global resource*, p. 321-338, 24 out. 2005. Brill | Wageningen Academic. http://dx.doi.org/10.3920/9789086865512_025.

ROSCHER, C.; TEMPERTON, V. M.; SCHERER-LORENZEN, M.; SCHMITZ, M.; SCHUMACHER, J.; SCHMID, B.; BUCHMANN, N.; WEISSER, W. W.; SCHULZE,

E.-D. Overyielding in experimental grassland communities – irrespective of species pool or spatial scale. *Ecology Letters*, v. 8, n. 4, p. 419-429, 9 mar. 2005. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00736.x>.

SANDERSON, M. A.; SKINNER, R. H.; BARKER, D. J.; EDWARDS, G. R.; TRACY, B. F.; WEDIN, D. A. Plant species diversity and management of temperate forage and grazing land ecosystems. *Crop Science*, v. 44, n. 4, p. 1132-1144, jul. 2004. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2004.1132>.

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; PADILHA, D. A.; SCHMITT, D. Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. *Crop Science*, v. 58, n. 2, p. 945-954, mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>.

SHCHERBAK, I.; MILLAR, N.; ROBERTSON, G. P. Global meta-analysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 111, n. 25, p. 9199-9204, 9 jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1322434111>.

SOHM, G.; THOMPSON, C.; ASSEFA, Y.; SCHLEGEL, A.; HOLMAN, J. Yield and quality of irrigated bermudagrass as a function of nitrogen rate. *Agronomy Journal*, v. 106, n. 4, p. 1489-1496, jul. 2014. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0580>.

SOUSSANA, J. F.; OLIVEIRA MACHADO, A. Modelling the dynamics of temperate grasses and legumes in cut mixtures. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; DE MORAES, A.; NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F. (Eds.). *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Vol. 1, pp. 169–190, 1999.

SOUSSANA, J.-F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 9-17, jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012>.

SPEHN, E. M.; JOSHI, J.; SCHMID, B.; DIEMER, M.; KÖRNER, C. Above-ground resource use increases with plant species richness in experimental grassland ecosystems. *Functional Ecology*, v. 14, n. 3, p. 326-337, jun. 2000. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2435.2000.00437.x>.

STEVENS, E. J.; ARMSTRONG, K. W.; BEZAR, H. J.; GRIFFIN, W. B.; HAMPTON, J. G. Fodder oats: an overview (Chapter II). In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. *Fodder oats: a world overview*. 33. ed. Roma: FAO, 2004.

SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G.; BATELLO, C. Grasslands of the World. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Vol. 34. FAO, 2005.

TAMELE, O. H.; SÁ, O. A. A. LOPES DE; BERNARDES, T. F.; LARA, M. A. S.; CASAGRANDE, D. R. Optimal defoliation management of brachiaria grass–forage peanut for balanced pasture establishment. *Grass and Forage Science*, v. 73, n. 2, p. 522-531, 12 out. 2017. <http://dx.doi.org/10.1111/gfs.12332>.

TILMAN, D.; DOWNING, J. A. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, v. 367, n. 6461, p. 363-365, jan. 1994. <http://dx.doi.org/10.1038/367363a0>.

TILMAN, D.; KNOPS, J.; WEDIN, D.; REICH, P.; RITCHIE, M.; SIEMANN, E. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, v. 277, n. 5330, p. 1300-1302, 29 ago. 1997. <http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5330.1300>.

TREMMELE, D. C.; BAZZAZ, F. A. How neighbor canopy architecture affects target plant performance. *Ecology*, v. 74, n. 7, p. 2114-2124, out. 1993. <http://dx.doi.org/10.2307/1940856>.

VIOLLE, C.; NAVAS, M.-L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, v. 116, n. 5, p. 882-892, maio 2007. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x>.

WEIGELT, A.; WEISSER, W. W.; BUCHMANN, N.; SCHERER-LORENZEN, M. Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences*, v. 6, n. 8, p. 1695-1706, 21 ago. 2009. <http://dx.doi.org/10.5194/bg-6-1695-2009>.

WHITEHEAD, D. C. *Grassland nitrogen*. Wallingford: CAB International, 1995, 397 p.

WOODWARD, S. L.; WAUGH, C. D.; ROACH, C. G.; FYNN, D.; PHILLIPS, J. Are diverse species mixtures better pastures for dairy farming? *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, p. 79-84, 1 jan. 2013. <http://dx.doi.org/10.33584/jnzg.2013.75.2926>.

5. UNDERSTANDING THE COEXISTENCE AND THE PRODUCTIVE DYNAMICS OF *Cenchrus clandestinus* AND *Cynodon* spp. CULTIVATED IN ASSOCIATION

5.1 ABSTRACT

More diverse pasture ecosystems have shown to be a promising alternative to monocultures commonly used in livestock systems. The main production modulators in such pastures are grazing management and nitrogen fertilization, which are responsible for modifying the patterns of individual and community responses of plants. Thus, the objective of this study was to identify whether fertilization strategies and doses alter the functional patterns of plants and promote different contributions to forage accumulation in pastures composed mainly of *Cynodon* spp. and *Cenchrus clandestinus*. The pasture was formed by the species *Arachis pintoii*, *Cenchrus clandestinus*, *Cynodon* spp., *Lotus corniculatus* L. and *Trifolium repens* L., superseded with *Lolium multiflorum* L. in the cool season. Experiment 1 followed a randomized block design with a 2x3 factorial arrangement, with three replicates per treatment. During the warm season, three nitrogen rates (50, 150 and 250 kg N. ha⁻¹) and two pre-grazing heights (23 and 17 cm, post-grazing) were used, and in the cool season, rates of 50 kg N. ha⁻¹ and management of 20 cm (pre-grazing, with the same grazing severity) were used, with analysis of roots of the species of interest being performed. Experiment 2 followed a randomized complete block design in a 2x2 factorial arrangement with four replicates per treatment. The factors were: (1) fertilization carried out in the cool season, where doses of 50 and 150 kg of N were distributed and (2) nitrogen fertilization in the warm season, in which doses of 100 and 200 kg of N were used over the doses already mentioned, obtaining the following treatments: Low-Winter-Low-Summer (LWLS; 50 + 100 kg of N.ha⁻¹), Low-Winter-High-Summer (LWHS; 50 + 200 kg of N.ha⁻¹), High-Winter-Low-Summer (HWLS; 150 + 100 N.ha⁻¹) and High-Winter-High-Summer (HWHS; 150 + 200 kg of N.ha⁻¹), totaling applications of 150, 250 and 350 kg N. ha⁻¹. year⁻¹. All experimental units were managed with a pre-grazing height of 20 cm, with 40% defoliation severity. Tiller population density was obtained from representative pasture samples and counting of individuals of each species. The tissue flow dynamics of *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. was performed on 20 tillers (ten of each species) per experimental unit. Forage accumulation was calculated from the daily leaf expansion rate per tiller x tiller population density x g.cm⁻¹ (conversion factor). Data were subjected to analysis of variance by the InfoStat statistical package, using the MIXED procedure and the means tested by the Fisher LSD test with 5% significance. There was no

difference in forage accumulation between treatments, but different nitrogen fertilization strategies modulated the productive dynamics of the pasture, affecting the relative contribution of each species. *C. clandestinus* contributed more significantly in environments with greater fertilization in the cold season, this response being linked to its lower basal temperature. Thus, it was observed that differences between these species allowed their coexistence and effective contribution to forage accumulation, which was modulated by the fertilization strategies used.

Key words: Tifton 85. Kikuyu grass. Nitrogen fertilization strategies. Forage accumulation.

5.2 INTRODUCTION

Pastoral ecosystems can provide several significant ecosystem services associated with economic, environmental, and social aspects. Especially in diverse ecosystems, the wide range of ecosystem services achieved thrives through the optimized acquisition of resources between above- and below-ground communities, together with spatial and temporal resource sharing (TILMAN *et al.* 1997; PETCHEY; HECTOR; GASTON, 2004), ultimately providing complementarity to the system (LOREAU; HECTOR, 2001). An efficient system would be composed of plants that could efficiently fill the system both horizontally, composing the different layers of the canopy and soil depths, and vertically, composing production in different stages throughout the productive year, maximizing the capture of available resources, and avoiding their competition and allowing their coexistence.

Despite the recognized benefits of mixed pasture systems, our understanding of their overall functionality remains limited and requires further investigation, particularly in relation to species coexistence and the impact of management on their balance. According to MaCArthur & Levins (1967), the coexistence of plants is possible until a dissimilarity between them is maintained, allowing individual productive maintenance. Knowledge of morphological and physiological characteristics, as well as life history characteristics of target species, is crucial to explain the interactions between species in mixed pastures (TREMMELE; BAZZAZ, 1993) and their coexistence.

In this context, adequate management of these associations would allow productive intensification and maintenance of ecosystem services (BUGALHO *et al.*, 2011;

SOUSSANA, LEMAIRE, 2014). Nitrogen fertilization management is a fundamental strategy for improving grass production, nutritional value, and animal production (DELEVATTI *et al.*, 2019). According to Barreta *et al.* (2023), in mixed pastures, variable nitrogen fertilization rates can significantly influence species dynamics over time at different grazing heights. Furthermore, increased nutrient availability substantially affects community structure and composition (GOUGH *et al.*, 2000; STEVENS *et al.*, 2004) through changes in floristic composition, as coexisting species modify their adaptive strategies and resource utilization patterns (MacARTHUR, WILSON, 1967; GRIME, 1974). In mixed pastures, understanding the contribution of each species, along with their specific requirements and unique characteristics, is essential for developing effective management strategies.

In their study, Barreta *et al.* (2023a) identified the harmonious coexistence of two grasses (*C. clandestinus* and *Cynodon* spp.), which shared morphological, physiological, and resource capture characteristics through more than three years of research, leading to the question of how these individuals were managed to coexist and how management could impact their balance.

In the present study, we aimed to determine nitrogen fertilization strategies and doses that maintain similar contributions to dry matter production in pastures composed of *Cynodon* spp. (Tifton 85) and *Cenchrus clandestinus* (Kikuyu grass). We hypothesized that increasing the nitrogen fertilization rate, regardless of the fertilization strategy, would increase the contribution of forage production of *C. clandestinus* and *Cynodon* spp., disproportionately among species, in biodiverse pastures.

5.3. MATERIAL AND METHODS

5.3.1. Species, location and experimental period

The experiments were conducted at the Center for Agro-Veterinary Sciences of the Santa Catarina State University (CAV-UDESC), Lages, Santa Catarina, Brazil (27°47'05.3" S, 50°18'13.1" W, 910 m elevation). The climate is classified as Cfb (Köppen classification), characterized by a subtropical climate with no defined dry season, mild summers, and well-distributed rainfall throughout the year (ALVARES *et al.*, 2013). The soil is classified as Cambisol Húmico Aluminínico Léptico (EMBRAPA, 2006), with the following chemical characteristics in the 0 to 20 cm layer: pH (H₂O) = 5.8; organic matter = 2.5%; K = 98 mg dm⁻³; P = 6.8 mg dm⁻³; Ca = 12.45 cmolc dm⁻³; Mg = 3.56 cmolc dm⁻³; H + Al = 3.1 cmolc dm⁻³; CEC pH 7.0 = 19.36 cmolc dm⁻³; base saturation = 83.99%; and clay content =

57%.

The experimental area consisted of six forage species: *Cenchrus clandestinus* (kikuyu grass), *Cynodon* spp. (tifton 85), *Arachis pintoi* (forage peanut), *Lotus corniculatus* L. (bird's clover), *Trifolium repens* (white clover) and overseeded in winter with *Lolium multiflorum* L. (annual ryegrass). Details of pasture establishment are described in Barreta et al (2023).

5.3.2 Experiment I

5.3.3.1. Experimental design, treatments and management

This experiment was conducted in an experimental area of 5,670 m² and subdivided into 18 experimental units. The experiment was conducted in February, 2022. The experimental design was a randomized block design with three replicates per treatment. The treatments were defined as three nitrogen fertilization rates of 50, 150, and 250 kg of N per hectare in the warm season, and 50 kg of N per hectare in all experimental units in the cold season, applied during three experimental years (2020, 2021, and 2022). During the warm season, the units were subjected to a management of 23 cm or 17 cm in height (pre-grazing) and 40% defoliation severity (14 cm or 10 cm, post-grazing). In the cold season, the pre-grazing management was 20 cm in height with the same defoliation severity (12 cm, post-grazing), based on an adequate determination for the main grasses of the environment (*C. clandestinus*, *Cynodon* spp. and *Lolium multiflorum* L.). The same objective was used to determine fertilization strategies, enabling adequate nutrition for the dominant plant at the time of fertilization, and allowing the use of the surplus by the others.

5.3.3.2. Measurements and analysis

1. Root traits

To determine the root characteristics, two soil samples were collected per experimental unit in February 2022. These were selected at points where only one species of interest (*Cynodon* spp. or *Cenchrus clandestinus*) was observed in the forage canopy. After selection, a steel cylinder measuring 8 cm in diameter was placed at a depth of 10 cm, totaling a sample of approximately 500 cm³ of soil. The samples were washed to separate the roots from the soil and subsequently analyzed using a flat-bed scanner with a light transparency unit (Epson Expression 12000XL). WinRhizo (Regent Instruments, Québec, Canada) was used to measure the root length, mean diameter, area, and volume. After the analysis, the roots were placed in a forced air circulation oven at 65 °C for 72 h to weigh the dry mass. With these data, it was possible to calculate the specific root length (SRL), proportion of root

length with a diameter <0.1 mm (% fine roots), specific root area (SRA), root tissue density (RTD), and root dry matter content (RDMC).

2. Leaf nitrogen content (LNC)

To determine leaf nitrogen content, leaf samples of each species from the three experimental years were analyzed. After botanical and morphological separation in the laboratory, leaf samples were dried in a forced air circulation oven at 65°C for 72 h and ground. Subsequently, they were analyzed for nitrogen using the combustion method of Dumas 968.07104 (Association of Official Analytical Chemists, 1990) using FP 528 equipment (LC, Leco Corporation, Saint Joseph, MI). Then, nitrogen nutrition index were determined by using the subsequent formula: $\text{NNI} = -0,035 + 0,028 \cdot \text{NL}$ (where $\text{NL} = \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, ZIADI *et al.*, 2009). The nitrogen nutrition indexes were above 0.8 in both grasses in all treatments.

5.3.3. Experiment II

5.3.3.1. Experimental design, treatments and management

The study area was 5040 m^2 , subdivided into 16 experimental units of approximately 315 m^2 each. The experiment was conducted from January 4 to April 4, 2024. The design used was randomized blocks (DBC) with a 2×2 factorial arrangement, with four replicates per treatment. The treatments were defined by different strategies and total nitrogen doses per year, with fertilization being carried out in the cool season with doses of 50 or $150 \text{ kg of N. ha}^{-1}$ on a cool-season pasture predominantly occupied by annual ryegrass; in the warm season, fertilization with doses of 100 and $200 \text{ kg of N. ha}^{-1}$ were used on top of the doses already mentioned, obtaining four treatments: Low-Winter-Low-Summer fertilization (LWLS; $50 + 100 \text{ kg of N. ha}^{-1}$), Low-Winter-High-Summer (LWHS; $50 + 200 \text{ kg of N. ha}^{-1}$), High-Winter-Low-Summer (HWLS; $150 + 100 \text{ kg of N. ha}^{-1}$) and High-Winter-High-Summer (HWHS; $150 + 200 \text{ kg of N. ha}^{-1}$), totaling applications of 150, 250, and $350 \text{ kg N. ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$, respectively. Fertilization was carried out in all experimental units in August, 8 (winter fertilization) and November, 23 (summer fertilization), 2023. The pre-grazing management height was set at 20 cm, with 40% defoliation severity (12 cm post-grazing height), and defoliation was performed after obtaining the average canopy height. The management height was selected based on a determination that was suitable for the main grasses in the environment (*C. clandestinus*, *Cynodon* spp., and *Lolium multiflorum* L.), with the same objective being the determination of fertilization strategies, enabling adequate nutrition for the

dominant plant at the time of fertilization and enabling the use of the surplus by the others.

5.3.3.2. Measurements and analysis

1. Tissue flow and morphogenesis

The dynamics of tissue flow of *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. were performed using the technique called “marked tillers,” the methodology of which is detailed by Davies (1993). In this technique, 20 tillers (ten from each species) were selected and marked per experimental unit. These parameters were quantified and classified to assist in obtaining data related to the leaf growth rate, senescence rate, and phyllochron.

Evaluations were performed at 4-7 day intervals during the pasture regrowth period (tillers were marked post-grazing and evaluated until they reached the pre-grazing stage). The selected tillers were distributed in two transects, identified with a white thread, and counted. For each new regrowth cycle, new tillers were selected to characterize the beginning of the measurement cycle. Using a millimeter ruler, stem length (from the soil base to the last exposed ligule), leaf blade length (from the ligule to the green end of the leaf blade), and tiller extension (from the soil to the green end of the most distant leaf blade) were measured. Three data-collection cycles were performed. Leaf elongation rate (LER; cm dd^{-1}) was calculated by dividing the increase in leaf length at a specific time by the thermal time elapsed between measurements (expressed in degree-days; dd). This calculation represents the slope of leaf elongation growth. Similarly, the leaf senescence rate (LSR; cm dd^{-1}) was measured considering the length of senescent leaves during a given thermal period. The LER and LSR patterns per tiller were obtained by adding the slope elongation and senescence of the leaves within the tiller. Balance leaf growth (BLG; cm dd^{-1}) was calculated by subtracting the LER value from the LSR value for each tiller.

The thermal time per day was calculated as $\text{dd} = [(T_{\text{MAX}} + T_{\text{MIN}})/2] - T_{\text{BASE}}$, where T_{MAX} is the maximum temperature per day, T_{MIN} is the minimum temperature per day, and T_{BASE} is the base temperature of each species. Base temperatures of 8°C (Colman *et al.*, 1978) and 10°C (OLIVEIRA *et al.*, 2000) were determined for *Cenchrus clandestinus* and *Cynodon* spp., respectively. The thermal time was determined within the period between the measurements in each experimental unit.

The tiller elongation rate (TER; cm dd^{-1}) was calculated by dividing the increase in tiller length over a given period by the corresponding thermal time. For each leaf, the time of appearance (expressed in degree-days; dd) was estimated using the slope of leaf elongation and the specific thermal time that elapsed. The phyllochron (Ph; dd^{-1}) of each leaf was

estimated by considering the thermal time between the appearance of two sequential leaves. The number of leaves per tiller (L_n) was measured using a system adapted for wheat (*Triticum aestivum* L., Thell.) (HAUN, 1973). Thus, in each tiller, the leaves received a classification of 1 unit when they were fully expanded and alive (ligule exposed and without senescence) or 0.5, when they were either senescent or expanding, performing the sum at the end. Leaf lifespan (LLS; dd^{-1}) was determined as the product of the mean phyllochron and the maximum number of leaves per tiller.

2. Specific Leaf Area and Leaf Dry Matter Content

Tillers were collected per experimental unit for each forage species under study, which required the presence of the last intact expanded leaf. After selection and collection, the green material and dry matter of the leaves were weighed after being kept in a forced-air circulation oven at 65 °C for 72 h. Leaf Area Index (LAI) was determined by reading the leaves using a LAI-3100C leaf area meter scanner (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA). To quantify the Specific Leaf Area (SLA), the LAI was divided by the dry weight of the leaves, and for the percentage of leaf dry matter, the dry weight of the leaf blades was divided by their green weight. The procedures followed the methodology proposed by Cornelissen *et al.* (2003).

3. Tiller Population Density

To determine the botanical and morphological composition, samples were collected using a 0.5 m² (1.0 m x 0.5 m) sampling frame, located at three representative points of the forage canopy condition, per experimental unit, in pre-grazing. The samples were manually cut at ground level with scissors and placed in the laboratory for later separation. In the laboratory, a subsample of the collected samples was randomly selected for later characterization of its botanical and morphological composition. Each species was separated by counting the number of tillers per species within the frame area, and then leaf and stem separation was performed. With the data obtained on the number of tillers, it was possible to expand this value to obtain the Tiller Population Density in m².

4. Forage Accumulation

Forage accumulation was estimated using data obtained from the tissue flow, tiller population density, conversion factor, and degree days of duration of each cycle per species.

To determine the conversion factor, the green part of the leaf blades of the tillers of both species in each experimental unit was measured in centimeters after the end of the tissue flow cycle. Subsequently, the leaves were stored in a forced air circulation oven at 65 °C for 72 h and then weighed to obtain their dry weights. The conversion factor was calculated by dividing the weight by the length and obtaining values in g of DM.cm⁻¹.

Forage accumulation was estimated as the product of leaf elongation rate (LER; cm dd⁻¹) per tiller, tiller population density of each species, conversion factor per species, and thermal time elapsed within the measurement cycle. Subsequently, the accumulation of each species was added between cycles to obtain the total forage accumulation per species, and both were subsequently added to obtain the total forage accumulation value per treatment.

5. Nitrogen Nutrition Index (NNI)

To understand the nutritional status of the plants under study, tillers of *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. were analyzed. After botanical and morphological composition in the laboratory, leaf and stem samples of both species were kept in a forced air circulation oven at 65 °C for 72 h and then ground together by species. In the laboratory, using the combustion method of Dumas 968.07104 (Association of Official Analytical Chemists, 1990) and FP 528 equipment (LC, Leco Corporation, Saint Joseph, MI), it was possible to obtain the percentage of N in the sample.

To calculate the NNI, it was necessary to obtain the value of N found in the mixture (Ns), which was calculated from the sum of N found for the accumulation of each species and subsequent division by the total accumulation. The critical N value of the mixture was obtained using the formula $N_c = 3.6 \cdot PS^{-0.34}$ (where PS = ton. ha⁻¹) (LEMAIRE, GASTAL, 1997). From this value, we divided the N sample value of the mixture by the critical N, following the formula: $INN = N_s / N_c$. The nitrogen nutrition values were above 0.9 in the mixture in all treatments.

5.3.4. Statistical Analysis

Observations from the mixed pasture were analyzed depending on the variables being measured. The statistical model was $Y_{[ijk]} = \mu + \alpha_{[i]} + \beta_{[j]} + \alpha\beta_{[ij]} + \epsilon_{[ijk]}$; where, $Y_{[ii]}$ = random variable corresponding to j -th observation of the i -th treatment; μ = constant effect or global average; $\alpha_{[i]}$ = effect of treatment i -th treatment, $\beta_{[j]}$ = effect of treatment j -th treatment, $(\alpha\beta)_{ij}$ = the interaction of $i*j$ treatment*year and $\epsilon_{[ijk]}$ = error term.

Depending on the objective of the analysis, *Cynodon* spp. (tifton 85), *Cenchrus clandestinus* (kikuyu grass), and treatments were considered as fixed factors. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the MIXED procedure of the InfoStat statistical package (InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Before conducting the analysis, the assumption of normality and heteroscedasticity was verified

using graphic methods: Q-Q plots and residuals against a predictor. If the assumptions were not met, that is, if there was evidence of a pattern or association in our data, log transformation of the data was used, or non-parametric Kruskal-Wallis analysis was used. The LSD Fischer's test with significance level of all analyses was set at 5% ($p < 0.05$) was used to see differences

5.4 RESULTS

5.4.1. Individual traits – Morphological characteristics and tissue flow

Cenchrus clandestinus (kikuyu grass) and *Cynodon* spp. (tifton 85) exhibited distinct characteristics in both individual traits and population parameters, which were influenced by species-specific differences and applied treatments.

C. clandestinus demonstrated a significantly higher phyllochron (Ph) ($p < 0.0001$) than *Cynodon* spp. Conversely, *Cynodon* spp. showed greater leaf elongation rate (LER, Figure 1b) ($p < 0.0001$) and leaf appearance rate (LAR) ($p < 0.0001$) relative to *C. clandestinus* (Table 1). Regarding leaf number per tiller (Ln), *Cynodon* spp. showed no significant differences among treatments, although all treatments resulted in higher values than *C. clandestinus* (treatment $\times$ species interaction, $p = 0.0263$). Within *C. clandestinus* treatments, the highest Ln value was observed under the HWLS (high nitrogen in winter and low nitrogen in summer) fertilization strategy.

Significant differences in the leaf senescence rate (LSR) were observed among treatments ($p = 0.0003$), with the LWLS fertilization strategy showing the highest value. Between species, *Cynodon* spp. exhibited a significantly lower LSR than *C. clandestinus* ($p < 0.0001$) (Figure 1). The leaf life span (LLS) showed significant differences between treatments and between species. The HWLS fertilization strategy resulted in the highest LLS values ($p = 0.0403$), whereas *Cynodon* spp. demonstrated a longer LLS than *C. clandestinus* ($p = 0.005$) (Table 1). For tiller elongation rate (TER), the LWHS fertilization strategy yielded significantly higher values than the other treatments ($p = 0.0028$) (Table 1).

Regarding leaf morphological characteristics, *C. clandestinus* exhibited a higher specific leaf area (SLA) compared to *Cynodon* spp. ($p < 0.0001$), while the opposite pattern was observed for leaf dry matter content (LDMC) ($p < 0.0001$). Leaf Area Index (LAI) was significantly higher in *C. clandestinus* than in *Cynodon* spp. ($p < 0.0003$).

Table 1. Descriptive metrics values for plant functional traits for *C. clandestinus* and *Cynodon*

spp.

		<i>C. clandestinus</i>	<i>Cynodon spp.</i>	Sig	
Treat	Var	Average	Average	sp	treat
LWLS	LAR	0.01235 ± 0.00061	0.0144 ± 0.00062	*** P<0.0001	ns
LWHS		0.0115 ± 0.00064	0.0139 ± 0.00051		
HWLS		0.01227 ± 0.00058	0.0137 ± 0.00054		
HWHS		0.01211 ± 0.00049	0.0137 ± 0.00059		
LWLS	LLS	568.943 ± 24.6	593.38 ± 22.59389	** P=0.005	* P=0.0403
LWHS		577.091 ± 26.67922	653.19 ± 20.08069		
HWLS		633.35 ± 24.6658	663.81 ± 22.5		
HWHS		589.872 ± 22.49835	647.98 ± 25.77674		
LWLS	Ln	6.5 ± 0.138	8.6188 ± 0.15641	* P=0.0263	
LWHS		6.325 ± 0.127	8.5125 ± 0.1825		
HWLS		7.18125 ± 0.15101	8.5125 ± 0.183		
HWHS		6.45625 ± 0.13928	8.1813 ± 0.184		
LWLS	PH	87.2315 ± 3.85	72.237 ± 3.04117	*** P<0.0001	ns
LWHS		93.5165 ± 4.90221	80.16 ± 3.05854		
HWLS		90.2508 ± 4.19131	79.886 ± 2.99		
HWHS		91.2547 ± 3.79045	79.852 ± 3.14		
LWLS	TER	0.01832 ± 0.00144	0.0212 ± 0.00124	ns	** P=0.0028
LWHS		0.02317 ± 0.0016	0.0263 ± 0.00162		
HWLS		0.02059 ± 0.00133	0.0205 ± 0.00145		
HWHS		0.02322 ± 0.0014	0.0223 ± 0.00152		
LWLS	CF	0.00109 ± 0.00014	0.002082 ± 0.00013	* P= 0.0202	
LWHS		0.001411 ± 0.00008	0.001889 ± 0.00013		
HWLS		0.001643 ± 0.00010	0.001667 ± 0.00023		
HWHS		0.001780 ± 0.00017	0.002016 ± 0.00006		
LWLS	LAI	1.85 ± 0.3741	0.5175 ± 0.0912	*** P<0.0003	ns
LWHS		2,01 ± 0.2272	0.9000± 0.2945		
HWLS		1,8475 ± 0.2819	0.5900± 0.1197		
HWHS		1,9425 ± 0.1035	0.4900 ± 0.2475		
LWLS	SLA	151.19 ± 13.37	124.67 ± 21.32	*** P<0.0001	ns
LWHS		175.78 ± 24.36	115.98 ± 27.25		
HWLS		171.33 ± 15.86	133.63 ± 23.1		
HWHS		148.71 ± 11.3	105.75 ± 20.55		

LWLS	LDMC	0.2631 ± 0.0189	0.3891 ± 0.0337	*** P<0.0001	ns
LWHS		0.2598 ± 0.0213	0.4089 ± 0.0299		
HWLS		0.2565 ± 0.0159	0.3787 ± 0.0226		
HWHS		0.2799 ± 0.0128	0.4198 ± 0.0155		

Legend: Mean $\pm$ standard error (S.E) of leaf appearance rate (LAR, n=73); leaf life span (LLS, n=72); number of leaves (Ln, n=80); phyllochrone (Ph, n=73); tiller elongation rate (TER, n=74); leaf weight/length (CF, n=4); Leaf area index (LAI, n=4), specific leaf area (SLA, n=4) and leaf dry matter content (LDMC, n=4); Significant codes and P-value: ‘***’ P <0.001; ‘**’ P <0.01; ‘*’ P <0.05; ‘ns’ P >0.1; respectively.

Figure 1: LER (cm dd⁻¹) (white bars) and LSR (cm dd⁻¹) (black bars) per plant throughout the low-winter-low-summer (LWLH), low-winter-high-summer (LWHS), high-winter-low-summer (HWLS), and high-winter-high-summer (HWHS) seasons (Figure 1. a) *C. clandestinus* (Figure 1. b) *Cynodon* spp. Results are presented as the mean $\pm$ standard error (n = 37).

Figure 1.a

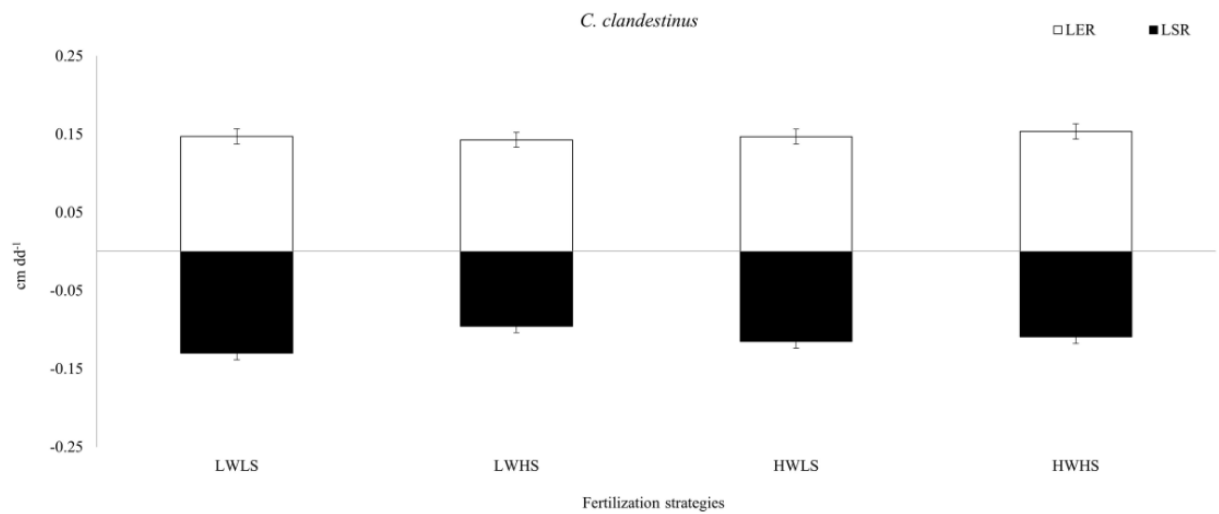
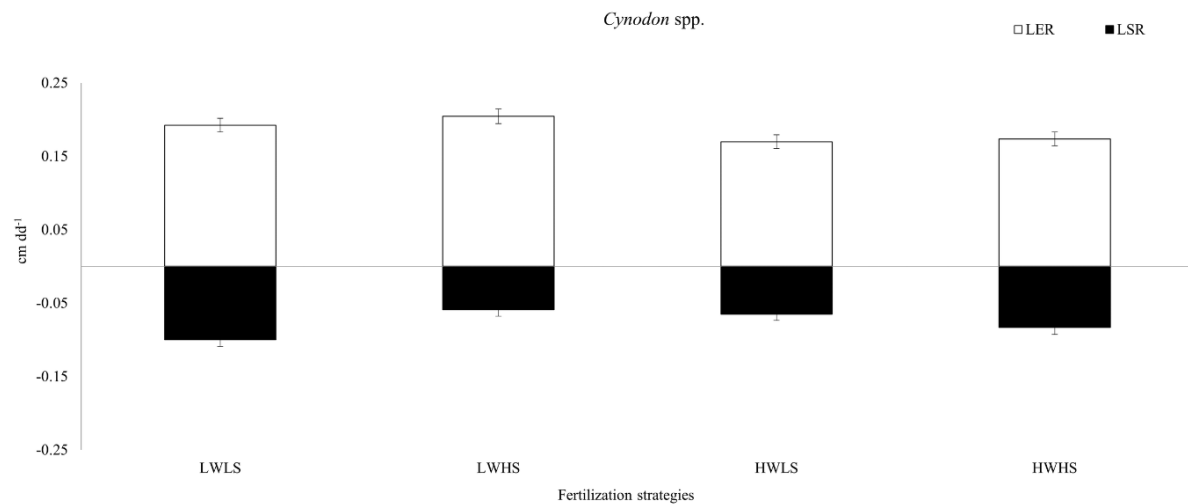


Figure 1b



Regarding the functional characteristics investigated in the experiment related to the roots, no statistical difference was observed between species or between treatments in the specific root length value (SRL). *Cynodon spp.* presented higher values to root tissue density (RTD, $p < 0.0001$) and root dry matter content (RDMC, $p = 0.0057$) when compared to *C. clandestinus*. However, *C. clandestinus* had the largest root surface area (SRA, $p = 0.0036$). The highest fertilization strategy ($300 \text{ kg N. ha}^{-1}$) resulted in the lowest fine root percentage ($p = 0.0428$) and the highest diameter ($p = 0.0324$), with no difference between species.

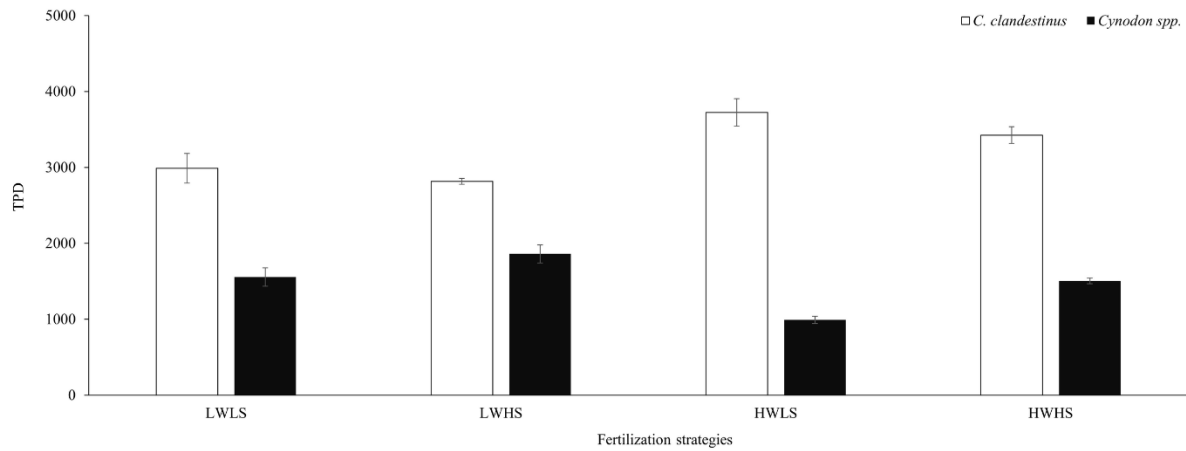
5.4.2. Population parameters – Tiller Population Density

Significant differences in tiller population density (TPD) were observed among treatments per species ($p < 0.0001$). Within *C. clandestinus*, HWLS and HWHS fertilization strategies showed the highest TPD values, and *Cynodon spp.* showed the lowest number of tillers in the HWLS fertilization treatment strategy (Figure 2).

The tiller population density of *C. clandestinus* was higher than that of *Cynodon spp.* under all treatments ($p < 0.0001$). However, the influence of nitrogen fertilization in the cool season was observed in relation to the differences between the studied populations. In the HWLS fertilization strategy, an approximate tiller production ratio of 3:1 was observed between *C. clandestinus* and *Cynodon spp.*, when compared to the LWLS, LWHS, and HWHS fertilization strategies, which presented an approximate ratio of 2:1.

Figure 2: TPD, Tiller Population Density (tillers.m⁻²) throughout the treatments LWLH (low-winter-low-summer), LWHS (low-winter-high-summer), HWLS (high-winter-low-summer) and HWHS (high-winter-high-summer) for *C. clandestinus* (white bars) and *Cynodon spp.*

(black bars). The results are presented as mean $\pm$ standard error (n=40).



5.4.3. Estimated Total Forage Accumulation

There was no statistical difference in the estimated total forage accumulation with *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. between the treatments ($p=0.4587$), obtaining a productive average of 9,991.03 kg.ha⁻¹ (Figure 3). However, we observed that different fertilization strategies had a distinct impact on the balance and participation of species within the composition of total forage accumulation. Thus, a distinct species contribution was observed in the treatments (Figure 4). In the LWLS fertilization strategy, *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. contributed half (50 percent) of the forage accumulation, with value of 4794.6 kg.ha⁻¹ and 4789.8 kg.ha⁻¹, respectively. Similar contributions were observed in the LWHS fertilization strategy, in which *C. clandestinus* contributed 53 percent (4172.9 kg.ha⁻¹) and *Cynodon* spp., 47 percent (3659.2 kg.ha⁻¹). In the HWLS treatment, there was a significant increase in the contribution of forage accumulation by *C. clandestinus* (76 percent of the forage accumulation - 6139.4 kg.ha⁻¹), compared to *Cynodon* spp. (24 percent - 1894.8 kg.ha⁻¹). In the HWHS fertilization strategy, a greater contribution of *C. clandestinus* was also observed (64 percent of the forage accumulation - 6542.8 kg.ha⁻¹), compared to *Cynodon* spp. (36 percent - 3693.6 kg.ha⁻¹).

Figure 3: Total forage biomass accumulation of the mixture ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) throughout the low-winter-low-summer (LWLH), low-winter-high-summer (LWHS), high-winter-low-summer (HWLS), and high-winter-high-summer (HWHS) seasons (Figure 3. a) and forage biomass accumulation (kg ha^{-1}) for *C. clandestinus* (white bars) and *Cynodon* spp. (black bars). Throughout the treatments (Figure 3b). The results are presented as mean $\pm$ standard error ($n=35$).

Figure 3a

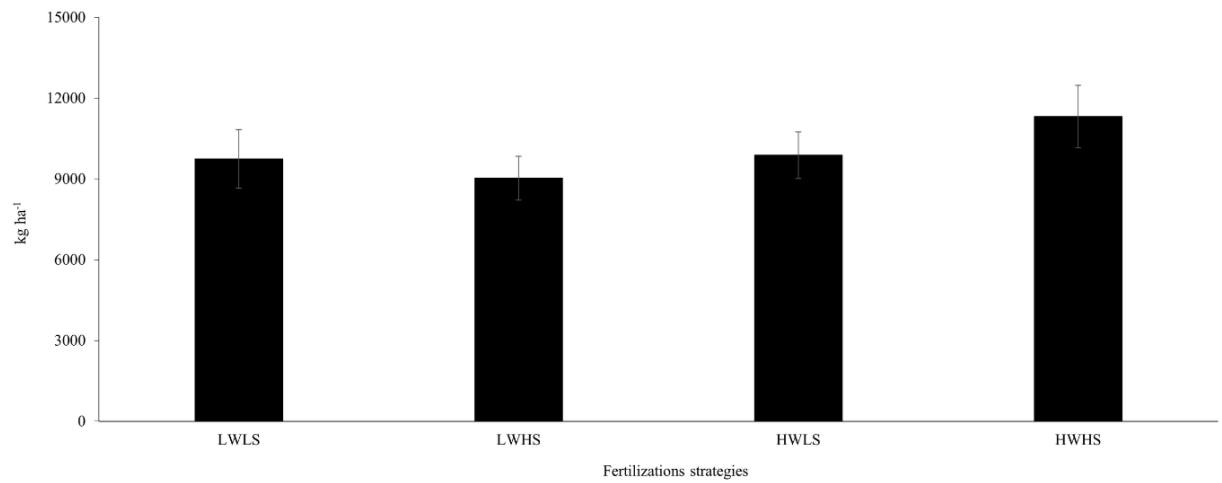
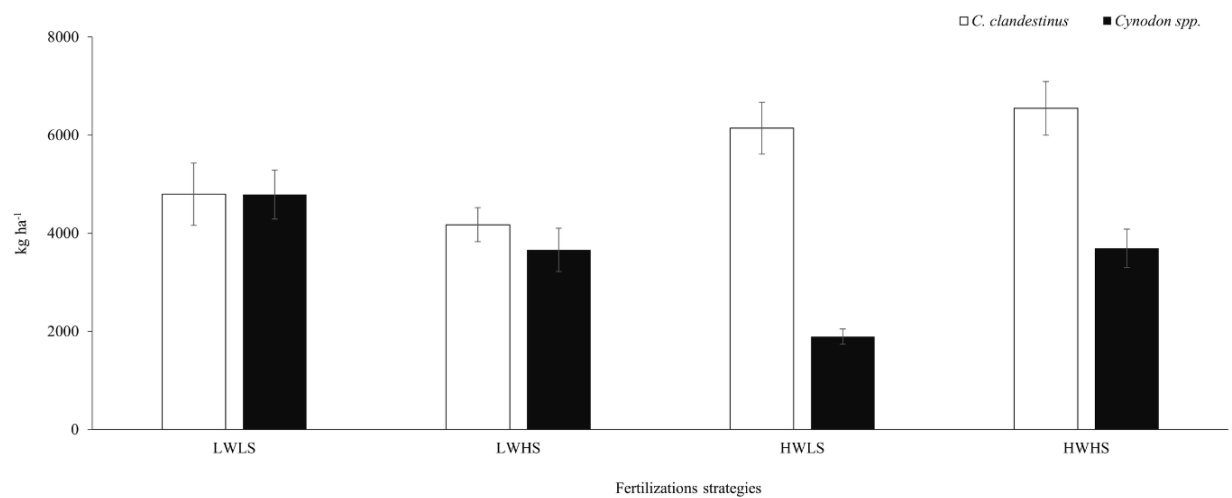


Figure 3b



5.5. DISCUSSION

In different fertile environments subjected to frequent and moderate defoliation, a mixed canopy composed of *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. grasses showed similar productivity. Interestingly, both grasses coexist in harmony despite presenting similar characteristics linked to morphology, physiology, and management (BARRETA *et al.* 2021, 2023). Despite being similar, they presented distinct and subtle intrinsic functional characteristics (Table 1). Specifically, *Cynodon* spp. invested more in leaf tissue renewal (with higher LER, Ln, LAR, LLS and lower Ph,) (Table 1 and Figure 1b), whereas *C. clandestinus* had a denser canopy structure (Figure 2). Furthermore, *C. clandestinus* had higher SLA and LAI but lower CF than *Cynodon* spp. (Table 1). Given these questions, we asked: How do both grasses balance their performance to achieve the same total forage accumulation across all fertile treatments? How can the same N supply, with different seasonal applications, balance productivity? Most importantly, why was there a change in the contribution to forage production as N fertilization increased?

Both grasses showed interspecific variation in functional traits, but no significant effect of N rate was observed, which caught our attention (Table 1). It has been widely studied how functional traits related to growth differ between fast- and slow-growing species and are affected by N supply, and that such differences persist under high and low N availability (POORTER *et al.*, 1995). However, *Cynodon* and *C. clandestinus* have similar functional characteristics as perennial plants with stoloniferous growth habits and similar management height recommendations (MEZZALIRA *et al.*, 2014; SBRISSIA *et al.*, 2018) and C4 photosynthetic cycles (BARRETA *et al.* 2021, 2023); therefore, we wondered whether the similar responses of the species across N treatments could unite them more than their differences in each trait could separate them.

Plant functional traits, canopy level structure and Forage production on a explorative species mixture

In general, *Cynodon* spp. had a higher leaf extension rate (LER) than that of *C. clandestinus*. Interestingly, *C. clandestinus* had a higher leaf senescence rate (LSR) than *Cynodon* spp. Taken together, these two parameters indicate that *C. clandestinum* exhibits faster tissue cycling than *Cynodon* spp. (Fig 1a and 1b). This difference in leaf growth dynamics differs from several authors who have explained it, as they have suggested that LER

coordinates with LSR (COLESIE, STANGL, HURRY, 2020; SKINNER, NELSON, 1995; VAN ESBROECK, HUSSEY, SANDERSON, 1997; DURU, DUCROCQ, 2000; GRANIER, TARDIEU, 2009). As previously observed (Davies, 1979; Wilman *et al.*, 1977), leaf lifespan increases in relation to its growth duration. LSR reflects the LAR and LLS, which decrease and increase, respectively, during leaf growth. Therefore, the number of live blades is constant (DURU, DUCROCQ, FEUILLERAC, 1999). The ratio of leaf initiation to senescence rate maintains a relatively constant leaf number (BRISKE; BOUTTON; WANG, 1996). In contrast, as shown in Fig. 1a and 1b, LER did not change between environments with different nitrogen supplies for any grass species ($P > 0.05$). In several studies, this functional trait has been described as being highly sensitive to the N supply rate and has a significant impact on crop growth through leaf area and leaf growth (ROBSON; DEACON, 1978; GASTAL, LEMAIRE, 2002). The increase in leaf area and canopy development is attributed to the large effect of N supply on the expansion of individual leaves (PEARSE, WILMAN, 1984; GASTAL, LEMAIRE, 1988; TRÁPANI, HALL, 1996; VOS, BIEMOND, 1992; VOS, BIEMOND; STRUIK, 1996). A study on tall fescue explained a model that elucidated the relationship between N and leaf extension rate, which is the main determinant of the leaf area expansion rate, and showed a direct relationship between LER and soil/air temperature under non-limiting N conditions (GASTAL, BELANGER, LEMAIRE, 1992). In our study, the constant LER in all N treatments may indicate that both *C. clandestinus* and *Cynodon* spp. reached their (potential) leaf extension rate under non-limiting N conditions in this environmental condition. This finding confirmed that the mixed pasture did not present limitations in nutrient supply, as evidenced by the similar NNI values for the mixture, which were greater than 0.9, indicating that there was no loss of productive potential (DURU, LEMAIRE, CRUZ, 1997).

Furthermore, *Cynodon* spp. presented higher Ln, faster leaf appearance ($<Ph$), higher LLS and accelerated leaf growth ($>LER$, presented previously) compared to *C. clandestinus*, regardless of N rates (Table 1). Species with higher leaf longevity and phyllochrons (typical slow-growing grasses) tend to have a higher foliage mass per unit of soil and a higher proportion of leaves in their forage mass (LEMAIRE, AGNUSDEI, 2000; PITTARO *et al.*, 2024). In this study, although most of the characteristics of *Cynodon* spp. led us to believe that it is classified as a slow-growing grass, we observed characteristics such as higher LER and lower phyllochron, associated with fast-growing plants. This may be a form of adaptation to the coexistence of the plant in the environment, modifying the floristic composition of the

area (in the competitive strategies of dominant species, it is due to the change from a conservative species to an exploitative species) (MaCARTHUR, WILSON, 1967).

However, at the canopy scale, tiller density was significantly different among the grasses. *C. clandestinus* showed a higher TPD than *Cynodon* spp. at all N concentrations. However, N treatment modified this trait by species. *C. clandestinus* increased its TPD in the HWHS fertilization strategy and in distributed N doses (LWHS and HWLS treatments), which was also observed by Barreta *et al.* (2023) at the highest N dose associated with the lowest height, resulting in the predominance of kikuyu grass, which is known for its superior resource exploitation capacity compared to Tifton 85 (Barreta *et al.*, 2021). For *Cynodon* spp., both treatments showed lower density ($P < 0.05$; Fig. 2), but interestingly, in the LWHS fertilization strategy, *Cynodon* spp. increased its TPD, while *C. clandestinus* reduced its TPD compared to the other N rates. This leads us to wonder how these different seasonal rates (LWHS and HWLS treatments) could affect the TPD in both grasses. What differences could exist between the grasses that determine the uptake and use of this nutrient?

First, although tiller population density is highly related to LAR (DAVIES, 1974), no significant effect of LAR on N rates was observed in either species (Table 1). In contrast, for *C. clandestinus*, together with the higher TPD in the HWLS treatment, increases in Ln and LLS were observed. This suggests that higher nitrogen fertilization in winter may be rapidly used by this species at the beginning of its vegetative growth, and *Cynodon* spp. may increase or decrease their vegetative growth in response to the growth of *C. clandestinus*. The increase in vegetative growth ($>SLA$, Table 1) and root SRA values in the *C. clandestinus* in the LWHS and HWLS treatments may be associated with the efficient use of N. Similar associations have been reported in *D. glomerata*, where root traits increased the capacity for nutrient acquisition (RYSER, LAMBERS, 1995).

Furthermore, significant differences between grasses were observed in SLA and LAI, with *C. clandestinus* having higher values than those of *Cynodon* spp. Higher SLA in *C. clandestinus* was related to larger leaf area and lower CF (Table 1). SLA is closely related to the relative growth rate and is a good predictor of plant responses to resource availability (BROUGHAM, 1956; YANG *et al.* 2022). It is also a common indicator of resource-use strategy (COLESIE, STANGL, HURRY, 2020). Furthermore, fast-growing plant species from nutrient-abundant environments generally have high SLA and leaf N (LN) content, and low leaf dry matter (LDMC) content (REICH, WALTERS, ELLSWORTH, 1992; HUNT,

COOPER, 1967). SLA affects community productivity by influencing the maximum photosynthetic rate and by increasing light interception (JEWISS, 1972; YANG *et al.* 2022).

In this context, the relationship between SLA and TPD may help us to understand this coordination. Furthermore, the different perspective provided by LER and SLA on the ecological spectrum of each grass, together with the lack of coordination between leaf number (Ln) and leaf appearance rate (LAR, Ph) suggest that positioning both grasses in the same ecological environment may not be easy and, as González-Paleo-PALEO, Ravetta (2015) suggested, the theory of leaf economic spectrum may not be as universal as previously thought in distinguishing species. This finding is in line with Pittaro *et al.* (2024), who discussed how the difference in tiller or canopy level in grasses with different growth strategies can balance productivity, even without differences in N fertilization rate (LWHS and HWLS).

The higher three-dimensional occupancy of *C. clandestinus*, as previously described, may be related to the lower base temperature of this grass species (COLMAN *et al.*, 1978), which allows for initial growth. In this context, *Cynodon* spp. was relegated to free space when it reached Tb. Temperature is an abiotic factor that significantly alters the structure of grass communities and strongly influences species diversity. Furthermore, it can help us better understand the spatial distribution patterns among species (TASSADDUQ *et al.*, 2022), as was observed in the estimation of forage production by species.

Regarding total forage mass accumulation, our results showed the same forage mass estimates among the N treatments (Fig. 3). In the same mixed pasture, Barreta *et al.* (2023) observed flexibility in forage production through a trade-off between size and number of tillers at two different heights (17 cm and 23 cm, respectively). Although they did not share the same treatments, our results showed some adjustments between functional plant traits at the tiller level in both grasses, as well as at the structural level that was maintained across the different N treatments (Table 1), and compensated for total productivity.

Regarding botanical participation in the estimated forage production, our results indicate a significant difference between the N treatments (LWLS: K = T; LWHS: K = T; HWLS: K > T; HWHS: K > T) (Figs. 3 and 4). This finding caught our attention, especially between the LWHS and HWLS treatments, which had the same N application rates but different seasonal applications. This reaffirms that the subtle difference in base temperature (2

°C) between species may allow the species with the lowest base temperature to anticipate its growth and use the available N at that time. Base temperature is defined for modeling purposes as the temperature below which development does not proceed (SLAFER, RAWSON, 1995). The differences in base and optimum temperatures during growth and development among genotypes have inspired ideas to define ideal phenotypes (ideotypes) for specific environments (ATKINSON, PORTER, 1996; SAVIN, SLAFER, 1991). Furthermore, variations in base temperature among cultivars reflect differences in their adaptation to the conditions under which they were grown and selected. It has also been suggested that increased base temperatures might result from other forms of adaptation to increased environmental temperatures (SLAFER, RAWSON, 1995). Although both grasses share similar functional, morphological, and structural traits, this subtle difference in Tb may represent an adaptive advantage that allows *C. clandestinus* to advance in growth and three-dimensional occupancy compared to *Cynodon* spp., while still allowing them to coexist in the environment.

5.6. CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

Despite having several common characteristics, dissimilarities between *C. clandestinus* and *Cynodon* spp., such as basal temperature, functional traits and canopy level structure, allow their coexistence in the same system. However, fertilization strategies modulated the productive dynamics and affected the balance between the studied species, in which the highest dose of N in winter (HWLS and HWHS treatments) favored the dominance of *C. clandestinus*. Thus, the management of the lowest dose of N (LWLH treatment) appears to be the most favorable management strategy for maintaining the balance between the species without modifying the total forage production.

REFERENCES

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ATKINSON, D.; PORTER, J. R. Temperature, plant development and crop yields. *Trends in Plant Science*, v. 1, n. 4, p. 119-124, abr. 1996.
- BARRETA, D. A.; WINTER, F. L.; GISLON, F. C. S.; SOLLENBERGER, L. E.; SBRISSIA, A. F. Managing a mixed sward to maintain species and functional diversity. *European Journal of Agronomy*, v. 149, p. 126883, set. 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2023.126883>.
- BARRETA, D. A.; PIRAN, F.; WINTER, F. L.; MENDEZ, V. M. Y.; GISLON, F. C. S.; SBRISSIA, A. F. Are Pennisetum clandestinum and Cynodon spp. functionally different? *Proc. 56th Annu. Meet. Braz. Soc. Anim. Sci.*, 2021, p. 29.
- BRISKE, D. D.; BOUTTON, T. W.; WANG, Z. Contribution of flexible allocation priorities to herbivory tolerance in C4 perennial grasses: an evaluation with ¹³C labeling. *Oecologia*, v. 105, n. 2, p. 151-159, jan. 1996. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00328540>.
- BROUGHAM, R. W. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 7, n. 5, p. 377, 1956. <http://dx.doi.org/10.1071/ar9560377>.
- BUGALHO, M. N.; CALDEIRA, M. C.; PEREIRA, J. S.; ARONSON, J.; PAUSAS, J. G. Mediterranean cork oak savannas require human use to sustain biodiversity and ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 9, n. 5, p. 278-286, 10 mar. 2011. <http://dx.doi.org/10.1890/100084>.
- COLESIE, C.; STANGL, Z. R.; HURRY, V. Differences in growth-economics of fast vs. slow growing grass species in response to temperature and nitrogen limitation individually, and in combination. *BMC Ecology*, v. 20, n. 1, 24 nov. 2020. <http://dx.doi.org/10.1186/s12898-020-00333-3>.
- COLMAN, R. L.; O'NEILL, G. H. Seasonal variation in the potential herbage production and response to nitrogen by kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*). *The Journal of Agricultural Science*, v. 91, n. 1, p. 81-90, ago. 1978. <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859600056641>.
- CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DÍAZ, S.; BUCHMANN, N.; GURVICH, D. E.; REICH, P. B.; STEEGE, H. ter; MORGAN, H. D.; HEIJDEN, M. G. A. van der. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, v. 51, n. 4, p. 335, 2003. <http://dx.doi.org/10.1071/bt02124>.

DAVIES, A. Sward measurement handbook. British Grassland Society, 1993, p. 183-215.

DELEVATTI, L. M.; CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; LEITE, R. G.; ROMANZINI, E. P.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, 20 maio 2019. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x>.

DURU, M.; LEMAIRE, G.; CRUZ, P. Grasslands. In: LEMAIRE, G. *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1997, p. 59-72.

DURU, M.; DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller. Ontogenic development and effect of temperature. *Annals of Botany*, v. 85, n. 5, p. 635-643, maio 2000. <http://dx.doi.org/10.1006/anbo.2000.1116>.

DURU, M.; DUCROCQ, H.; FEUILLERAC, E. Effet du régime de défoliation et de l'azote sur le phyllochrone du dactyle. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, v. 322, n. 8, p. 717-722, ago. 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/s0764-4469\(99\)80111-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0764-4469(99)80111-5).

EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Embrapa Solos, 2006.

GASTAL, F.; BELANGER, G.; LEMAIRE, G. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany*, v. 70, n. 5, p. 437-442, nov. 1992.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, v. 53, n. 370, p. 789-799, 15 abr. 2002. <http://dx.doi.org/10.1093/jexbot/53.370.789>.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Study of a tall fescue sward under nitrogen deficiency conditions. In: 12th General Meeting of the European Grassland Federation, 1988, Dublin, Ireland.

GONZÁLEZ-PALEO, L.; RAVETTA, D. A. Carbon acquisition strategies uncoupled from predictions derived from species life-cycle. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, v. 212, p. 1-9, mar. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2015.02.004>.

GOUGH, L.; OSENBERG, C. W.; GROSS, K. L.; COLLINS, S. L. Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities. *Oikos*, v. 89, n. 3, p. 428-439, jun. 2000. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.890302.x>.

GRANIER, C.; TARDIEU, F. Multi-scale phenotyping of leaf expansion in response to environmental changes: the whole is more than the sum of parts. *Plant, Cell & Environment*, v. 32, n. 9, p. 1175-1184, set. 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01955.x>.

GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, p. 1169-1194, nov. 1977.

GRIME, J. P. Vegetation classification by reference to strategies. *Nature*, v. 250, n. 5461, p. 26-31, jul. 1974. <http://dx.doi.org/10.1038/250026a0>.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. *Agronomy Journal*, v. 65, n. 1, p. 116-119, jan. 1973. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1973.00021962006500010035x>.

HUNT, L. A.; COOPER, J. P. Productivity and canopy structure in seven temperate forage grasses. *The Journal of Applied Ecology*, v. 4, n. 2, p. 437, nov. 1967. <http://dx.doi.org/10.2307/2401347>.

INFOSTAT. Infostat 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponível em: <http://www.infostat.com.ar>.

JEWISS, O. R. Tillering in grasses—its significance and control. *Grass and Forage Science*, v. 27, n. 2, p. 65-82, jun. 1972. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2494.1972.tb00689.x>.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRES, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. D.; NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. D. F., editores. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. 1. ed. UK: CABI Publishing, 2000. p. 265–287. <https://doi.org/10.1079/9780851994529.0265>.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIRES, G. *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. p. 3-43, 1997. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-60684-7_1.

LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, v. 412, n. 6842, p. 72-76, 5 jul. 2001. <http://dx.doi.org/10.1038/35083573>.

MACARTHUR, R.; LEVINS, R. The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *The American Naturalist*, v. 101, n. 921, p. 377–385, 1967. <http://www.jstor.org/stable/2459090>.

MEZZALIRA, J. C.; CARVALHO, P. C. de F.; FONSECA, L.; BREMM, C.; CANGIANO, C.; GONDA, H. L.; LACA, E. A. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 153, p. 1-9, abr. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2013.12.014>.

OLIVEIRA, M. A.; PEREIRA, O. G.; MARTINEZ Y HUAMAN, C. A.; GARCIA, R.; GOMIDE, J. A.; CECON, P. R.; SILVEIRA, P. R. de. Características morfogênicas e estruturais do capim-bermuda “Tifton 85” (*Cynodon spp.*) em diferentes idades de rebrota. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, n. 6, p. 1939-1948, 2000.

PEARSE, P. J.; WILMAN, D. Effects of applied nitrogen on grass leaf initiation, development and death in field swards. *The Journal of Agricultural Science*, v. 103, n. 2, p. 405-413, out. 1984. <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859600047377>.

PETCHEY, O. L.; HECTOR, A.; GASTON, K. J. How do different measures of functional diversity perform? *Ecology*, v. 85, n. 3, p. 847-857, mar. 2004. <http://dx.doi.org/10.1890/03-0226>.

PITTARO, M. G.; DUCHINI, P. G.; GUZATTI, G. C.; SBRISSIA, A. F. Unraveling the forage productivity puzzle: comparing fast and slow-growing grasses. *PLoS One*, v. 19, n. 7, p. 1-18, 30 jul. 2024. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0306692>.

POORTER, H.; VIJVER, C. A. D. M. van de; BOOT, R. G. A.; LAMBERS, H. Growth and carbon economy of a fast-growing and a slow-growing grass species as dependent on nitrate supply. *Plant and Soil*, v. 171, n. 2, p. 217-227, abr. 1995. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00010275>.

REICH, P. B.; WALTERS, M. B.; ELLSWORTH, D. S. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs*, v. 62, n. 3, p. 365-392, set. 1992. <https://doi.org/10.2307/2937116>.

ROBSON, M. J.; DEACON, M. J. Nitrogen deficiency in small closed communities of S24 ryegrass. II. Changes in the weight and chemical composition of single leaves during their growth and death. *Annals of Botany*, v. 42, n. 5, p. 1199-1213, set. 1978. <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a085561>.

RYSER, P.; LAMBERS, H. Root and leaf attributes accounting for the performance of fast- and slow-growing grasses at different nutrient supply. *Plant and Soil*, v. 170, n. 2, p. 251-265, mar. 1995. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00010478>.

SAVIN, R.; SLAFER, G. A. Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. *The Journal of Agricultural Science*, v. 116, n. 1, p. 1-7, fev. 1991. <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859600076085>.

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; PADILHA, D. A.; SCHMITT, D. Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. *Crop Science*, v. 58, n. 2, p. 945-954, mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>.

SKINNER, R. H.; NELSON, C. J. Elongation of the grass leaf and its relationship to the phyllochron. *Crop Science*, v. 35, n. 1, p. 4-10, jan. 1995. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183x003500010002x>.

SLAFER, G. A.; RAWSON, H. M. Base and optimum temperatures vary with genotype and stage of development in wheat. *Plant, Cell & Environment*, v. 18, n. 6, p. 671-679, jun. 1995. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00568.x>.

SOUSSANA, J.-F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 9-17, jun. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.012>.

STEVENS, C. J.; DISE, N. B.; MOUNTFORD, J. O.; GOWING, D. J. Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science*, v. 303, n. 5665, p. 1876-1879, 19 mar. 2004. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1094678>.

TASSADDUQ, S. S.; AKHTAR, S.; WAHEED, M.; BANGASH, N.; NAYAB, D.; MAJEED, M.; ABBASI, S.; MUHAMMAD, M.; ALATAWAY, A.; DEWIDAR, A. Ecological distribution patterns of wild grasses and abiotic factors. *Sustainability*, v. 14, n. 18, p. 11117, 6 set. 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/su141811117>.

TILMAN, D.; KNOPS, J.; WEDIN, D.; REICH, P.; RITCHIE, M.; SIEMANN, E. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*, v. 277, n. 5330, p. 1300-1302, 29 ago. 1997. <http://dx.doi.org/10.1126/science.277.5330.1300>.

TRÁPANI, N.; HALL, A. J. Effects of leaf position and nitrogen supply on the expansion of leaves of field grown sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant and Soil*, v. 184, n. 2, p. 331-340, jun. 1996. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00010462>.

TREMMELE, D. C.; BAZZAZ, F. A. How neighbor canopy architecture affects target plant performance. *Ecology*, v. 74, n. 7, p. 2114-2124, out. 1993. <http://dx.doi.org/10.2307/1940856>.

VAN ESBROECK, G. A.; HUSSEY, M. A.; SANDERSON, M. A. Leaf appearance rate and final leaf number of switchgrass cultivars. *Crop Science*, v. 37, n. 3, p. 864-870, maio 1997. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030028x>.

VOS, J.; BIEMOND, H. Effects of nitrogen on the development and growth of the potato plant. 1. Leaf appearance, expansion growth, life spans of leaves and stem branching. *Annals of Botany*, v. 70, n. 1, p. 27-35, jul. 1992. <http://dx.doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088435>.

VOS, J.; BIEMOND, H.; STRUIK, P. C. Dynamics of change of leaf attributes of Brussels sprouts in response to switches between high and low supply of nitrogen. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, v. 44, n. 1, p. 31-42, 1 mar. 1996. <http://dx.doi.org/10.18174/njas.v44i1.556>.

WILMAN, D.; DROUSHIOTIS, D.; MZAMANE, M. N.; SHIM, J. S. The effect of interval between harvests and nitrogen application on initiation, emergence and longevity of leaves, longevity of tillers and dimensions and weights of leaves and 'stems' in *Lolium*. *The Journal of Agricultural Science*, v. 89, n. 1, p. 65-79, ago. 1977. <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859600027209>.

YANG, Y.; CHEN, Z.; XU, B.; WEI, J.; ZHU, X.; YAO, H.; WEN, Z. Using trait-based methods to study the response of grassland to fertilization in the grasslands of semiarid areas in the Loess Plateau of China. *Plants*, v. 11, n. 15, p. 2045, 4 ago. 2022. <http://dx.doi.org/10.3390/plants11152045>.

ZIADI, N.; BÉLANGER, G.; GASTAL, F.; CLAESSENS, A.; LEMAIRE, G.; TREMBLAY, N. Leaf nitrogen concentration as an indicator of corn nitrogen status. *Agronomy Journal*, v. 101, n. 4, p. 947-957, jul. 2009. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2008.0172x>.