

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**Luciana Marin**

**DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM E VALOR NUTRICIONAL DE  
GRAMÍNEAS NATIVAS SUBMETIDAS A DISTINTOS PERÍODOS DE  
DIFERIMENTO**

**Santa Maria, RS  
2023**

**Luciana Marin**

**DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM E VALOR NUTRICIONAL DE  
GRAMÍNEAS NATIVAS SUBMETIDAS A DISTINTOS PERÍODOS DE  
DIFERIMENTO**

Trabalho de Tese apresentado ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Vilmar Kozloski  
Coorientador: Dr. Martin Jaurena

**Santa Maria, RS  
2023**

Marin, Luciana

DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM E VALOR NUTRICIONAL  
DE GRAMÍNEAS NATIVAS SUBMETIDAS A DISTINTOS PERÍODOS DE  
DIFERIMENTO / Luciana Marin.- 2023.

106 p.; 30 cm

Orientador: Gilberto Vilmar Kozloski

Coorientador: Martin Jaurena

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Zootecnia, RS, 2023

1. Pastagens naturais 2. Características morfológicas  
3. Energia digestível 4. Proteína bruta 5. Tipos  
funcionais I. Kozloski, Gilberto Vilmar II. Jaurena,  
Martin III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, LUCIANA MARIN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Luciana Marin**

**DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM E VALOR NUTRICIONAL DE  
GRAMÍNEAS NATIVAS SUBMETIDAS A DISTINTOS PERÍODOS DE  
DIFERIMENTO**

Trabalho de Tese apresentado ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Zootecnia – **Ênfase em Forragicultura.**

**Aprovada dia 30 de agosto de 2023.**

**gov.br**

Documento assinado digitalmente

**GILBERTO VILMAR KOZLOSKI**

Data: 16/10/2023 09:15:08-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Gilberto Vilmar Kozloski, Dr. (UFSM)**

(Presidente, Orientador)

**Carlos Nabinger, Dr. (UFRGS)**

**gov.br**

Documento assinado digitalmente

**ANDRÉ FISCHER SBRISIA**

Data: 04/09/2023 11:12:57-0300

Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**André Fischer Sbrissia, Dr. (UDESC)**

(videoconferência)

**Gonzalo Fernandez Turren, Dr. (INIA)**

(videoconferência)

**Vicente Celestino Pires Silveira, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2023

Dedico este trabalho ao Professor Fernando Quadros (*in memoriam*), grande defensor das pastagens naturais e da produção sustentável que deixou um enorme legado para a pesquisa e muitos admiradores do seu trabalho e principalmente de sua pessoa.  
Sempre carregarei o maior orgulho de ter sido sua orientada.

## AGRADECIMENTOS

Ao longo da minha trajetória acadêmica tive o apoio de inúmeras pessoas que tiveram papel fundamental para que eu conseguisse chegar até aqui. À essas pessoas devo meus sinceros agradecimentos...

Ao meu pai Amilcar Marin que não mediu esforços para que eu pudesse estudar, pelo constante incentivo e pelas tantas conversas sobre a produção animal (especialmente pastagens nativas) que me fizeram ter certeza de que eu havia feito a melhor escolha. A minha mãe Claudia Lima pelo apoio e constante incentivo, celebrando cada pequena conquista.

Ao meu avô Eduardo Marin (*in memorian*) que sempre me apoiou e me incentivou a seguir estudando e nunca desistir do meu propósito.

Aos meus familiares, aqueles que me apoiaram e torceram por mim.

Ao professor Fernando (*in memorian*) por ter me recebido tão bem no laboratório como estagiária ainda durante a minha graduação, por ter me incentivado a seguir na pesquisa durante o mestrado e doutorado, por todo o apoio durante os nove anos de orientação, e principalmente por ter sido um grande exemplo de pessoa e de pesquisador.

Ao Martin Jaurena pela proposta de realizar o trabalho no Uruguai, pelo apoio durante todo o período do doutorado, pelo constante incentivo, por demonstrar quanto a pesquisa em pastagens é ao mesmo tempo desafiadora e encantadora, e por ter me dado suporte para enfrentar os períodos mais difíceis.

Ao INIA Tacuarembó, pela recepção e possibilidade de realização dos experimentos. A todo o pessoal do laboratório de forrageiras pela ajuda, principalmente no período em que não estive presente.

Aos "pasantes" do laboratório de forrageiras em especial Sebastian e Filomena por toda a ajuda, inclusive durante os finais de semana, e pelas conversas que tornavam tudo mais leve e divertido.

Ao Martin Durante pelo suporte, por toda a ajuda durante os experimentos e pelos ensinamentos.

A Belén Artagaveytia pela parceria e pelas contribuições nas análises estatísticas.

Ao professor Gilberto que aceitou o desafio de me orientar na reta final, pela compreensão, paciência, e por todas as contribuições.

Aos meus amigos Gabriela, Regis, Pedro e Leandro, que estão do meu lado desde a graduação, pelas conversas e trocas de ideias e principalmente pelo apoio nos momentos

mais desafiadores. A Ana Carolina pela paciência e apoio, sempre me incentivando a seguir meus sonhos. E a todo os demais amigos estiveram ao meu lado durante esse período. A UFSM, Universidade do qual tenho o maior orgulho, por ter sido minha segunda casa durante mais de dez anos e ser responsável por praticamente toda a minha formação profissional.

Aos funcionários e estagiários do LABRUMEN que me auxiliaram com as análises laboratoriais.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos durante o doutorado.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram com a minha formação e com a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**

“Sonhar não custa nada  
Mesmo a vida sendo curta  
Quem tem um sonho de fato,  
Já ganhou parte da luta”  
*Cassia Portella*

## RESUMO

### DINÂMICA DE PRODUÇÃO DE FORRAGEM E VALOR NUTRICIONAL DE GRAMÍNEAS NATIVAS SUBMETIDAS A DISTINTOS PERÍODOS DE DIFERIMENTO

AUTORA: Luciana Marin

ORIENTADOR: Gilberto Vilmar Kozloski

COORIENTADOR: Martin Jaurena

As pastagens naturais dos “Pastizales del Rio de la Plata”, são ecossistemas que apresentam grande heterogeneidade fisionômica, devido principalmente à diversidade de espécies vegetais que os compõem, onde, até 80% da massa de forragem é constituída por espécies de gramíneas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>. Essa maior participação de gramíneas C<sub>4</sub> (estivais) provoca redução na produção forrageira no período de outono e inverno. Ademais, a ocorrência de secas no período de verão também pode reduzir a produtividade primária destas áreas. O diferimento de forragem é uma eficiente ferramenta para reduzir os efeitos da estacionalidade produtiva pois tem como principal objetivo permitir o acúmulo de forragem para uso futuro em períodos de menor produção, no entanto, essa prática apresenta como principal inconveniente a redução do valor nutricional da forragem à medida que avança o período de exclusão de pastejo. O conhecimento das respostas das espécies nativas aos diferentes períodos de diferimento é essencial para promover um uso eficiente das pastagens naturais voltado à uma pecuária mais produtiva, já que os processos de crescimento e senescência das plantas estão relacionados ao valor nutricional da forragem. O presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de acúmulo de forragem e a variação no valor nutricional de espécies nativas de distintos grupos funcionais e diferentes rotas metabólicas em períodos crescentes de diferimento do pasto em diferentes épocas do ano. Foram avaliados cinco intervalos de diferimento (450, 900, 1350, 1800 e 2550 °C) e seis espécies de gramíneas (*Andropogon lateralis*, *Bromus auleticus*, *Mnesithea selloana*, *Nassella neesiana*, *Paspalum dilatatum* e *Paspalum notatum*) em diferimentos de primavera a verão e outono a inverno. A massa de forragem foi crescente ao longo dos intervalos de diferimento, principalmente em diferimentos de primavera a verão. Os principais fatores relacionados ao valor nutricional de gramíneas nativas foram a porcentagem de folhas verdes que incrementou o valor nutricional, enquanto, o tempo de diferimento e a massa de forragem impactaram negativamente nos teores proteína bruta (PB) e energia digestível (ED) da forragem. Observou-se um importante efeito do tipo de espécie de gramíneas na evolução da relação massa de forragem/valor nutricional. A partir dos resultados deste estudo, em condições não limitantes de fertilidade e umidade do solo, em diferimentos de primavera a verão as espécies de ciclo hibernal (*N. neesiana* e *B. auléticus*) poderiam ser submetidas a diferimentos de aproximadamente 100 dias, *A. lateralis* de 80 dias, *P. notatum* e *M. selloana* de 60 dias, e *P. dilatatum* de 40 dias. Em deferimentos de outono a inverno, *N. neesiana* e *B. auléticus* poderiam ser diferidos de 100 a 120 dias, *A. lateralis*, *P. dilatatum* e *M. selloana* de 70 dias no início do outono, enquanto *P. notatum* não é adequado para diferimentos de outono a inverno por perda de valor nutricional.

**Palavras – chave:** Características morfogênicas. Energia digestível. Produção de forragem. Proteína bruta. Tipos funcionais. Rota metabólica.

## ABSTRACT

### FORAGE PRODUCTION DYNAMICS AND NUTRITIONAL VALUE OF NATIVE GRASS SUBMITTED TO DIFFERENT STOCKPILING PERIODS

AUTHOR: Luciana Marin

ADVISOR: Gilberto Vilmar Kozloski

CO-ADVISOR: Martin Jaurena

The natural grasslands of the “Pastizales del Rio de la Plata” are ecosystems that present great physiognomic heterogeneity, mainly due to the diversity of plant species that compose them, where up to 80% of the forage mass is made up of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> grass species. This greater participation of C<sub>4</sub> grasses (summer) causes a reduction in forage production in the autumn and winter period. Furthermore, the occurrence of droughts in the summer can also reduce the primary productivity of these areas. Forage stockpiling is an efficient tool to reduce the effects of productive seasonality as its main objective is to allow the accumulation of forage for future use in periods of lower production. However, this practice has the main drawback of reducing the nutritional value of the forage as the grazing exclusion period progresses. Knowledge of the responses of native species to different stockpiling periods is essential to promote efficient use of natural pastures aimed at more productive livestock farming, since the processes of plant growth and senescence are related to the nutritional value of the forage. The present study aimed to evaluate the forage accumulation capacity and variation in the nutritional value of native species from different functional groups and different metabolic routes in increasing periods of pasture stockpiling at different times of the year. Five stockpiling intervals (450, 900, 1350, 1800 and 2550 °C) and six grass species (*Andropogon lateralis*, *Bromus auleticus*, *Mnesithea selloana*, *Nassella neesiana*, *Paspalum dilatatum* and *Paspalum Notatum*) were evaluated in stockpilings from spring to summer and autumn. to winter. Forage mass increased throughout the stockpiling intervals, especially in stockpilings from spring to summer. The main factors related to the nutritional value of native grasses were the percentage of green leaves that increased the nutritional value, while the stockpiling time and forage mass had a negative impact on the crude protein (CP) and digestible energy (DE) contents of the forage. A important effect of the type of grass species was observed on the evolution of the forage mass/nutritional value ratio. Based on the results of this study, under non-limiting conditions of soil fertility and humidity, in stockpilings from spring to summer, species with a winter cycle (*N. neesiana* and *B. auléticus*) could be subjected to stockpilings of 100 days, *A. lateralis* of 80 days, *P. Notatum* and *M. selloana* of 60 days, and *P. dilatatum* of 40 days. In autumn to winter stockpilings, *N. neesiana* and *B. auléticus* could be stockpiled for 100 to 120 days, *A. lateralis*, *P. dilatatum* and *M. selloana* for 70 days in early autumn, , while *P. Notatum* is not suitable for autumn to winter deferrals due to loss of nutritional value.

**Keywords:** Morphogenetic traits. Digestible energy. Forage production. Nutritional value. Crude protein.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Plantas ao final dos experimentos, intervalos de diferimento, datas de início de cada diferimento, e número de dias de diferimento de primavera a verão (a) e outono a inverno (b). .....	26
Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas diárias, e horas de luz diárias dos experimentos de primavera a verão e outono a inverno. ....	28
Figura 3 - Massa de forragem acumulada e contribuição de componentes estruturais de gramíneas nativas submetidas a distintos períodos de descanso nos períodos de primavera a verão e outono a inverno. ....	35
Figura 4 - Teores de energia digestível e proteína bruta em espécies de gramíneas nativas das pastagens da América do Sul submetidas a distintos intervalos de diferimento nos períodos de primavera a verão e outono a inverno. ....	37
Figura 5 - Relação entre os teores de energia digestível (ED) e proteína bruta (PB) no período de primavera a verão (a) e outono a inverno (b) em seis espécies de gramíneas nativas das pastagens da América do Sul. ....	40
Figura 6 - Contribuição das variáveis estudadas na variância dos componentes principais (PC). .....	42
Figura 7 - Agrupamento das espécies de acordo com características nutricionais semelhantes nos experimentos de diferimento de primavera a verão e outono a inverno. ....	49

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Atributos foliares de gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata” submetidas dos à distintos períodos de diferimento de primavera a verão. ....	31
Tabela 2 - Características morfogênicas em diferentes gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata” submetidas à distintos períodos de diferimento de primavera a verão e outono a inverno. ....	32
Tabela 3 - Modelos de regressões múltiplas para estimativa do teor de proteína bruta (PB), energia digestível (ED) nos períodos de primavera a verão e outono a inverno em três grupos de gramíneas dominantes das pastagens naturais da América do Sul. ....	43

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
2.1	PASTAGENS NATURAIS DA AMÉRICA DO SUL.....	12
1.2	COMUNIDADES VEGETAIS E AGRUPAMENTO FUNCIONAL DE GRAMÍNEAS NATIVAS.....	14
<b>2.2.1</b>	<b>Espécies utilizadas no estudo .....</b>	<b>15</b>
2.2	DIFERIMENTO DE PASTAGENS.....	18
2.3	DINÂMICA DE PRODUÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE GRAMÍNEAS.....	19
2.4	MORFOGÊNESE EM GRAMÍNEAS.....	22
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES .....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
4.1	OBJETIVO GERAL.....	23
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>5.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>62</b>
	<b>MANUSCRITO 1 .....</b>	<b>62</b>
	<b>MANUSCRITO 2 .....</b>	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As pastagens naturais dos “Pastizales del Río de la Plata” compreendem um conjunto ambiental que se estende da região leste da Argentina, todo o território uruguaio, e sul do Brasil (JAURENA *et al.*, 2021). Esses ambientes são utilizados como principal recurso forrageiro para animais criados nessa região. Desta forma, a fisionomia atual dos campos é resultado de séculos de intervenção, principalmente pela atividade pecuária.

As pastagens naturais têm como característica uma alta capacidade de resiliência, ou seja, são capazes de se recuperar após passarem por distúrbios. Portanto, devido a esses aspectos, a sua conservação está relacionada a manutenção de sua estrutura (NABINGER *et al.*, 2009). Nesse sentido, a pecuária exercida de forma adequada representa uma forma eficiente de manter as pastagens naturais. A preservação destes ambientes é de grande relevância para a sociedade em geral, pois além de sua importância econômica, desempenham importante um papel social e ambiental, pois são responsáveis por diversos serviços ecossistêmicos (PILLAR; ANDRADE; DADALT, 2015).

Os “Pastizales del Río de la Plata” são formados por uma alta diversidade florística, no qual, os campos são caracterizados pela predominância de gramíneas C<sub>4</sub> em relação às C<sub>3</sub> (CRUZ *et al.*, 2019) em proporções variáveis nas distintas regiões ecológicas que compõem este ecossistema (WAGNER *et al.*, 2018). A predominância de gramíneas C<sub>4</sub> ocasiona a redução na produtividade e qualidade do pasto no período mais frio do ano, refletindo em menor eficiência produtiva dos rebanhos. Além disso, a produção primária no verão é fortemente determinada pelo regime pluviométrico, que tem demonstrado um alto grau de variabilidade entre os anos (BIDEGAIN *et al.*, 2012).

Considerando o problema da estacionalidade na produção forrageira, o uso de práticas de manejo que incrementem a produção de forragem nos períodos de menor produção e diminuam os efeitos da sazonalidade tende a aumentar a produtividade destes sistemas. Uma destas práticas é o diferimento de pastagens, que é definido como o ato de suspender o pastoreio de um potreiro durante determinado período (CORBETT, 1957; HUGHES, 1954; MORRIS; GARDNER, 1958; SOLLENBERGER *et al.*, 2012).

Dentre as inúmeras vantagens que o diferimento apresenta, a primeira delas é permitir o acúmulo de forragem em estações mais produtivas para uso em épocas de escassez de forragem (NABINGER *et al.*, 2009). Ademais, é uma prática de manejo que permite a recuperação de áreas degradadas de campo nativo melhorando a cobertura do solo e deixando sementes das espécies mais sobre pastejadas. No entanto, esta prática tem como principal

inconveniente e perda de qualidade da forragem ofertada aos animais, à medida que aumenta o período de diferimento (CURTIS; KALLENBACH, 2007). O aumento da proporção de tecidos e o desenvolvimento reprodutivo das espécies, aumenta a proporção de colmos e inflorescências, que afetam de forma negativa a qualidade da forragem (CHAPMAN; LEE; WAGHORN, 2014). Desta forma, existe a necessidade de conciliar uma produção de forragem adequada sem que haja perdas significativas no seu valor nutricional, favorecendo o uso mais eficiente dessa prática em um ambiente voltado à produção.

Pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de desenvolver ferramentas que permitam prever a perda de qualidade da forragem com o passar do tempo a partir das características morfofisiológicas das plantas, principalmente de gramíneas (LEMAIRE; BELANGER, 2019). Portanto, o estudo da dinâmica de crescimento e valor nutricional de espécies e comunidades de pastagens naturais permitiria reduzir as incertezas na hora de tomar decisões sobre o diferimento nas propriedades rurais.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar o efeito de cinco intervalos de diferimento no valor nutricional em seis gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata”, no qual o primeiro capítulo trata-se de uma revisão bibliográfica acerca do assunto estudado, no segundo capítulo é descrita a metodologia utilizada nos experimentos a campo, os resultados são apresentados no terceiro capítulo, e a discussão no quarto capítulo, e por fim são apresentadas as considerações finais do trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PASTAGENS NATURAIS DA AMÉRICA DO SUL

As pastagens naturais dos “Pastizales del Rio de la Plata” constituem um ecossistema campestre que ocorre desde a região leste da Argentina, abrangendo todo o território uruguaio, e sul do Brasil (JAURENA *et al.*, 2021). Estes ambientes representam o principal patrimônio nutricional e fonte de estabilidade para a produção de bovinos de corte e ovinos no Uruguai (JAURENA *et al.*, 2013), assim como nos demais países que compõem esse ecossistema. Essas áreas dividem-se em cinco eco regiões: Pastos das missões, no Paraguai; Savana Mesopotâmica, Pampa Semiárido e Pampa Úmido, na Argentina; e por fim, Savana Uruguaia compartilhada pelo Uruguai e Rio Grande do Sul (TEIXEIRA FILHO; WINCKLER, 2020).

A fisionomia atual dos campos é resultado de séculos de intervenção, principalmente através da produção animal e, devido as suas características e sua capacidade de resiliência, a manutenção destas áreas torna-se indispensável (NABINGER *et al.*, 2009). Portanto, a pecuária desde que bem aplicada representa a melhor forma de preservação da forma atual desse ecossistema.

Em geral essas áreas apresentam variação no substrato geológico e na altitude (WAECHTER, 2002), com predominância de relevo suave que raramente ultrapassa os 200 m (SUERTEGARAY; SILVA, 2009), temperatura média de 14 °C a 22 °C e precipitações anuais de 700 a 1600mm (MODERNEL *et al.*, 2016). As chuvas apresentam alta variabilidade intra e interanual (CRUZ, G. *et al.*, 2014), com a ocorrência de estiagens em determinadas épocas. Esta variação se relaciona de forma direta com as mudanças de produtividade do pasto (LAUENROTH; SALA, 1992).

Esses ecossistemas campestres são caracterizados pela sua complexidade fisionômica devido à variada formação vegetacional. Segundo Berretta *et al.* (2000), a heterogeneidade fitofisionômica das pastagens naturais é consequência da maior abundância de espécies tropicais e subtropicais em relação às temperadas, formando um mosaico de grupos de espécies que é influenciado pelos tipos de solo e intensidade de pastoreio.

Já foram catalogadas cerca de 4864 espécies vasculares em pastagens naturais ao longo dos três países, das quais, as famílias com maior número de espécies são as Asteráceas (659), Poaceas (645) e Fabáceas (399), que representam cerca de 35% do total de espécies catalogadas (ANDRADE *et al.*, 2018). No entanto, entre 65 a 80% da biomassa aérea dos campos nativos é composta por gramíneas (QUADROS *et al.*, 2009), ocorrendo a associação de espécies C<sub>3</sub> (espécies hibernais), e C<sub>4</sub> (gramíneas perenes estivais), no mesmo ambiente (BOLDRINI,

2009). As variações climáticas ao longo deste ecossistema determinam a dominância de grupos de espécies (BURKART, 1975). Enquanto as espécies de gramíneas C<sub>3</sub> dominam os Pampas Argentinos, os Campos do Sul do Brasil e Uruguai são dominados por gramíneas C<sub>4</sub>, embora a biomassa de gramíneas C<sub>3</sub> aumente temporalmente durante o inverno nos campos Uruguaios (BERRETTA *et al.*, 2000).

A produção primária no verão é fortemente determinada pelo regime pluviométrico, que tem demonstrado um alto grau de variabilidade entre os anos (BIDEGAIN *et al.*, 2012). Segundo Berretta *et al.* (2000), na maioria das primaveras e em alguns verões, os campos produzem uma quantidade de forragem superior a demanda dos animais, no entanto nos invernos e verões secos ocorre situação contrária. Ademais, a predominância das gramíneas C<sub>4</sub> ocasiona uma estacionalidade da produção forrageira, devido ao baixo ou nulo crescimento durante as estações frias (outono e inverno).

O valor nutricional do campo também varia significativamente durante o ano com a redução da porcentagem de proteína bruta, com o avanço da maturidade das folhas (NÚÑEZ *et al.*, 2022) e da digestibilidade da forragem (BUXTON; MERTENS; MOORE, 1995), devido principalmente à senescência de gramíneas estivais. Segundo Bremm, Rosa e Machado (2019) devido à redução da produção de forragem nos meses de inverno, mesmo com a redução da lotação animal da área, nem sempre se consegue manter o ganho de peso dos animais neste que é considerado o período de maior limitação para a produção em pastagens naturais.

Devido às características biológicas e fisiológicas do desenvolvimento das pastagens naturais, a pecuária desenvolvida sob essas áreas requer maior atenção dos pecuaristas. Segundo Neves *et al.* (2009) por desconhecimento da realidade e potencial, as pastagens nativas foram rotuladas de improdutivas, de baixa qualidade, e que deveriam ser substituídas por espécies cultivadas. Baldi e Paruelo (2008) relatam que desde a década de 1970 as áreas de pastagem natural passaram por uma redução abrupta, devido principalmente à expansão de culturas de grãos, especialmente trigo e soja, além de plantação de árvores. Segundo Nabinger *et al.* (2009) a substituição dessas áreas ocorre principalmente pelas fortes pressões econômicas que tais culturas impõem quando comparadas a produção pecuária atual.

No entanto, resultados de pesquisa em pastagens naturais demonstram que estes ambientes apresentam resultados produtivos satisfatórios, e representam a forma mais barata de produzir carne nesta região, desde que corretamente manejados (NABINGER, 2006). Também é importante ressaltar que a produção pecuária nestas pastagens constitui uma prática com função econômica e que também é capaz de conservá-las (NABINGER *et al.*, 2009; QUADROS; TRINDADE; BORBA, 2009). Existem diversas alternativas que podem ser utilizadas a fim de aumentar a produtividade em pastagens naturais, desta forma é necessário

que se busquem aquelas que melhor se adequem as características das comunidades vegetais encontradas em cada propriedade e aos objetivos estabelecidos pelo produtor.

## 1.2 COMUNIDADES VEGETAIS E AGRUPAMENTO FUNCIONAL DE GRAMÍNEAS NATIVAS

Existem diferenças marcantes na vegetação ao longo dos diferentes ecossistemas campestres da região, caracterizadas por combinações distintas de solo e padrões climáticos (BOLDRINI, 2009). Somente na eco região denominada Savana Uruguaia, que compreende o território Uruguaio e do Rio Grande do Sul incluindo bioma Pampa e Mata Atlântica, foram mapeados 12 sistemas ecológicos formados predominantemente por gramíneas de diferentes espécies (HASENACK; WEBER, 2010).

As regiões são caracterizadas pela vegetação predominante, o qual também define suas nomenclaturas. Dentre elas, destacam-se “Campo com Espinilho”, “Campo Misto com Andropogôneas e Compostas”, “Campos de solos rasos”, “Campo misto do cristalino oriental”, “Campo Arbustivo”, “Campo Graminoso” e “Campo Litorâneo” que são comuns entre o Rio Grande do Sul e o Uruguai. Os campos uruguaios também apresentam regiões caracterizadas pela ocorrência de espécies do gênero *Nassella*, popularmente conhecidas como flechilhas (HASENACK; WEBER, 2010).

A diversidade na composição dos campos não ocorre apenas a nível de paisagem, mas também em escalas menores podendo variar dentro de diferentes áreas de uma mesma propriedade (GAUJOUR *et al.*, 2011). Segundo Boldrini (2009), nos campos do bioma Pampa dentre as principais espécies de verão destacam-se a grama-tapete (*Axonopus affinis*), a grama-forquilha (*Paspalum notatum*), que apresentam crescimento mais prostrado, e capim-caninha (*Andropogon lateralis*), cola-de-lagarto (*Mnesithea selloana*), e capim-melador (*Paspalum dilatatum*) que são as de hábito cespitoso. Dentre as espécies hibernais destacam-se a flechilha (*Nassella neesiana*) e o flechilhão (*Piptochaetium stipoides*). As leguminosas mais frequentemente encontradas são o trevo nativo (*Trifolium polymorphum*) e as babosas (*Adesmia sp.*). Devido à essa diversidade existe uma dificuldade no reconhecimento dos processos de dinâmica vegetacional em pastagens naturais, onde o principal entrave se dá pela grande complexidade destes ambientes, que pode constituir um obstáculo de manejo para técnicos ou produtores que desconheçam ou não dominem a identificação das espécies (QUADROS *et al.*, 2006).

Com o objetivo de simplificar o manejo nesses ambientes heterogêneos, Quadros, Trindade e Borba (2009) propuseram a construção de um agrupamento de pastagens naturais,

utilizando como base os atributos foliares de gramíneas nativas, que fosse capaz de atender as demandas dos produtores e técnicos. Esse agrupamento funcional permite a identificação dos piquetes pela sua produção de forragem ou da forma como o seu uso pode ser intensificado (CRUZ *et al.*, 2019). Avaliaram-se as características foliares (teor de matéria seca (TMS) e área foliar específica (AFE)) de 22 gramíneas dominantes da massa de forragem em pastagens nativas da Depressão Central, Serra do Sudeste e Campanha do Rio Grande do Sul. Posteriormente, uma nova classificação funcional foi proposta por (CRUZ *et al.*, 2019), agrupando 63 espécies de gramíneas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> pertencentes a pastagens naturais do Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina, submetidas a diferentes manejos (fertilização e intensidade de pastejo).

A partir desses estudos, as gramíneas foram divididas em quatro grupos, ou tipos funcionais (A, B, C e D). Os grupos A e B são formados por gramíneas com valores de TMS baixos ou intermediários e AFE relativamente alta, e são definidos como “capturadoras, ou utilizadoras de recursos” (CRUZ *et al.*, 2010), no qual, encontram-se espécies como *Axonopus affinis* e *Paspalum notatum* (QUADROS; TRINDADE; BORBA, 2009).

Os grupos C e D são formados por espécies que apresentam tecidos com altas densidades, que estão relacionados a altos TMS, além disso, apresentam baixas AFE, e maior duração de vida da folha. As espécies destes grupos são classificadas como “conservadoras de recursos” (CRUZ *et al.*, 2010), como por exemplo *Andropogon lateralis*, e *Aristidas laevis*.

Segundo Lezama *et al.* (2019), a descrição das unidades de pastagem constituem a base para o mapeamento de comunidades de plantas sobre a região, representando uma pré-condição para alcançar um uso racional e a conservação dessas áreas. Desta forma, o reconhecimento das principais espécies ou grupos funcionais que constituem as áreas de pastagens naturais é de grande importância, pois permite considerar as particularidades de cada área antes de definir o manejo mais adequado.

### **2.2.1 Espécies utilizadas no estudo**

#### *Andropogon lateralis*

O *Andropogon lateralis*, conhecida por capim-caninha no Brasil, por Canutillo no Uruguai e Paja colorada na Argentina é uma gramínea cespitosa, perene de crescimento estival (OLMOS; CARDOZO; SOSA, 2015), tem ampla distribuição ao longo das eco regiões de pastagens naturais (HASENACK; WEBER, 2010), ocorrendo principalmente em áreas bem drenadas, no entanto sua ocorrência também é observada em áreas mal drenadas (BOLDRINI, 2009).

Esta espécie é caracterizada pela sua plasticidade fenotípica, ou seja, apresenta modificações associadas ao seu hábito de crescimento relacionadas a situações de pastoreio em que é submetida, podendo até mesmo apresentar características que a enquadrem em diferentes grupos funcionais (CRUZ *et al.*, 2010). Sob um pastoreio leniente apresenta folhas longas, com alto teor de matéria seca, e estrutura de touceira, característica de gramíneas do grupo funcional de “conservação de recursos”, e por outro lado, quando submetida a pastejos mais intensos, tende a formar folhas mais curtas, com menor teor de matéria seca, assemelhando-se a gramíneas do grupo de “conservação de recursos” (QUADROS; TRINDADE; BORBA, 2009).

#### *Mnesithea selloana*

Também conhecida como cola-de-lagarto, é uma gramínea de crescimento estival, perene, com hábito de crescimento cespitoso (NABINGER; DALL’AGNOL, 2019). É uma espécie com maior ocorrência em solos profundos (BOLDRINI, 2009), e assim como *A. lateralis*, pode apresentar características que a enquadrem tanto no grupo B (QUADROS; TRINDADE; BORBA, 2009), como no grupo C (CRUZ *et al.*, 2019). Segundo Castilhos, Machado e Pinto (2009) o uso de menores intensidades de pastejo contribui para a conservação dessa espécie.

#### *Paspalum dilatatum*

Espécie de nome popular capim-melador no Brasil, ou pasto-miel no Uruguai e Argentina, possui hábito de crescimento cespitoso, podendo tornar-se prostrado sob pastejos mais intensos (NABINGER; DALL’AGNOL, 2019). Está adaptada a diversos tipos e condições de solo, sendo tolerante a umidade excessiva e secas moderadas (CARÁMBULA *et al.*, 1997).

Possui características como alta área foliar específica e baixo teor de matéria seca que o enquadram como gramínea capturadora de recursos no tipo funcional A (CRUZ *et al.*, 2019). É um importante componente do estrato inferior das pastagens naturais, e quando bem manejado possui alto valor nutricional.

#### *Paspalum notatum*

Conhecida popularmente como grama-forquilha ou pasto-horqueta, o *Paspalum notatum* é uma espécie perene, de crescimento estival, e uma das espécies mais comuns nas pastagens naturais do Uruguai (GIORELLO; SBRISSIA; DA SILVA, 2021). É uma espécie

rizomatosa, com rizomas localizados bem próximos à superfície resistentes ao pastejo contínuo e ao pisoteio. Ocorre tanto em solos profundos como em solos rasos em topos e encostas de coxilhas (BOLDRINI, 2009), com exceção de solos muito superficiais e pedregosos (BERRETTA, 1997).

É uma espécie de captura de recursos, podendo enquadrar-se nos grupos A e B, em função da intensidade de desfolha (CRUZ *et al.*, 2019; QUADROS; TRINDADE; BORBA, 2009). Quando submetida a desfolhas mais intensas tende a emitir folhas mais curtas como uma estratégia de adaptação, por outro lado, possui menor capacidade de adaptação em condições de menores intensidades de desfolha devido a competição com espécies cespitosas (QUADROS; TRINDADE; BORBA, 2009).

### *Bromus auleticus*

*Bromus auleticus* (cevadilha crioula) é uma espécie de gramínea perene hibernal de hábito de crescimento cespitoso (JAURENA *et al.*, 2012). É exigente quanto a fertilidade do solo, tem sua produção concentrada entre os meses do outono estendendo-se até a primavera. Possui boa persistência desde que seja empregado pastejo menos intenso na época de floração (NABINGER; DALL'AGNOL, 2019). Em situações onde há uma maior intensidade de pastejo pode ocorrer a diminuição de sua abundância (JAURENA *et al.*, 2012).

Segundo o agrupamento funcional proposto por Cruz *et al.* (2019), enquadra-se no grupo C das espécies hibernais. Tem valor nutricional alto quando comparada com outras espécies que compõem as pastagens naturais (MILLOT, 2001), com teores médios de proteína bruta próximos a 200g.kg<sup>-1</sup> (SCHEFFER-BASSO *et al.*, 2009), e apresenta um alto potencial de uso para a recuperação de áreas degradadas (BOGGIANO, ZANONIANI e SALDANHA, 2001).

### *Nassella neesiana*

Também conhecida como flechilha, é uma espécie hibernal subcespitosa. É uma das espécies hibernais mais comuns nas pastagens naturais, ocorrendo com mais frequência em solos mais profundos, e de melhor fertilidade. O uso de menores intensidades de pastejo favorece a sua conservação, e além disso, sua ocorrência está relacionada à proteção por algumas espécies de touceiras que dificultam o seu consumo pelos animais (BOLDRINI, 2009). Quanto a classificação funcional, devido ao teor de matéria seca mais elevado e a menor área foliar específica, enquadra-se no grupo D das espécies hibernais (CRUZ *et al.*, 2019).

## 2.2 DIFERIMENTO DE PASTAGENS

A estacionalidade na produção representa um entrave para a produção pecuária em pastagens naturais. Portanto, práticas de manejo que melhorem a produção de forragem no outono-inverno e diminuam os efeitos da estiagem em anos mais secos, como o diferimento de pastagens podem contribuir com o aumento da produtividade destes sistemas. O diferimento é definido como o ato de suspender o pastoreio de um potreiro durante um determinado período (CORBETT, 1957; HUGHES, 1954; MORRIS; GARDNER, 1958; SOLLENBERGER *et al.*, 2012). Dentre os inúmeros objetivos em que o diferimento pode ser aplicado, o principal é o acúmulo de forragem em uma estação mais produtiva, para o seu uso em épocas de menor produção. Nas pastagens da América do Sul o diferimento é realizado principalmente durante os meses de verão e outono para permitir o acúmulo de forragem para o inverno, já que esta representa a estação mais crítica na produção de forragem.

O diferimento de verão e outono também possibilita a ressemeadura de espécies, principalmente as estivais de floração mais tardia. Também é utilizada a exclusão de pastejo na primavera, para uso no verão que normalmente é um período mais seco, possibilitando a ressemeadura natural de espécies hibernais, já que estas não são pastejadas durante o estágio reprodutivo.

A prática do diferimento pode ser uma excelente ferramenta para auxiliar no ajuste de lotação do campo (NABINGER *et al.*, 2009), pois geralmente, ao realizar a vedação de uma área, é necessário aplicar uma lotação maior em outra área, esta prática é ideal quando realizada na primavera, pois segue as premissas do uso de lotação variável (MEZZALIRA *et al.*, 2014; SOARES *et al.*, 2005).

Com relação ao desempenho animal, há uma variabilidade nos ganhos médios diários em áreas de pastagens nativas diferidas tanto na primavera quanto no verão/outono (COSTA, 2015; RODRIGUES, 2013). Isso ocorre devido às diferentes situações em que os diferimentos são empregados, como a estrutura do pasto antes da exclusão, e os tipos diferentes de comunidades vegetais predominantes na área e das condições climáticas durante o período.

A ausência de pastejo durante determinado tempo permite um incremento na massa de forragem, visto que a exclusão do pastejo possibilita maior acúmulo de reservas aumentando no vigor das plantas. Além disso, o diferimento possibilita a ressemeadura de espécies, e, ao longo do tempo, a formação de um banco de sementes. Independente da época de diferimento, as áreas com histórico de sobrepastejo apresentam maior proporção de espécies prostradas, a exclusão do pastejo favorece o aparecimento de espécies (AZAMBUJA FILHO, 2013;

FEDRIGO *et al.*, 2018). Os autores também verificaram um aumento nas inflorescências de gramíneas devido às exclusões de curto prazo na área sobrepastejada, o que representa um recurso abundante de sementes para posterior recuperação da área. Embora a exclusão temporária do pastejo apresente diversas vantagens para produção em pastagens naturais, sua principal desvantagem, ou inconveniente, é a perda da qualidade da forragem disponibilizada para os animais com o aumento do tempo de diferimento.

À medida que período de exclusão de pastejo é prolongado, ocorre um aumento da biomassa e redução do conteúdo de proteína e da digestibilidade da forragem (CURTIS; KALLENBACH, 2007). Quando a redução no valor nutricional do pasto atinge níveis de proteína bruta abaixo de  $70\text{g.kg}^{-1}$  e FDN acima de  $750\text{g.kg}^{-1}$ , considerados limitantes para o consumo e desempenho dos animais em pastejo, suplementos proteicos e energéticos podem ser utilizados para contornar essas limitações e incrementar a produção animal em pastagens diferidas (BUXTON; MERTENS; MOORE, 1995; MOORE *et al.*, 1999). Além disso, a época de diferimento e o manejo aplicado antes da exclusão do pastejo também podem influenciar na qualidade da forragem fornecida.

Ainda não existem muitos trabalhos avaliando o efeito do tempo de diferimento na qualidade da forragem das gramíneas constituintes das principais comunidades vegetais de pastagens naturais. Portanto, o conhecimento do valor nutricional da forragem consumida pelos animais, é importante no gerenciamento do sistema produtivo.

### 2.3 DINÂMICA DE PRODUÇÃO E VALOR NUTRICIONAL DE GRAMÍNEAS

As pastagens naturais são ambientes que estão com constante transformação em decorrência principalmente do manejo em que são submetidos, resultando em alterações na composição das comunidades vegetais ou grupos de gramíneas predominantes e consequentemente no valor nutricional. No entanto, ainda existe uma carência de conhecimento detalhado dos processos de crescimento, senescência e perda de valor nutricional nas diferentes comunidades das pastagens naturais.

A influência do manejo no valor nutricional do pasto foi relatada por Santos *et al.* (2013), em gramíneas pertencentes aos grupos funcionais descritos por Quadros, Trindade e Borba (2009), sob manejo de queima, pastejo rotativo com intervalos de descansos de 375 e 750 graus ( $^{\circ}\text{C}$ ), e exclusão de pastejo. Observou-se que o pastejo provocou aumentos consideráveis no teor de PB do pasto, possivelmente devido ao menor acúmulo de colmo e material senescente nas áreas pastejadas. Além disso, os maiores teores de digestibilidade

observados reafirmaram a superioridade nutricional dos grupos de gramíneas de captura de recursos.

Ainda existe um desafio constante entre equilibrar uma produção adequada de forragem sem que haja perdas consideráveis no seu valor nutricional. Estudos vem sendo realizados com o objetivo de avaliar a dinâmica da produção e valor nutricional de forrageiras cultivadas (CALVACHE *et al.*, 2020; INSUA *et al.*, 2019). Como os estudos acerca desse tema ainda são escassos em pastagens naturais essas pesquisas podem direcionar futuros estudos em espécies ou grupos funcionais de gramíneas nativas.

Há décadas os pesquisadores estão interessados em desenvolver ferramentas que permitam prever a perda de qualidade da forragem com o passar do tempo (LEMAIRE e BELANGER, 2020). Segundo os autores supracitados, inicialmente acreditava-se que a redução da % de PB e da digestibilidade da forragem estavam relacionadas apenas com o estado fenológico da planta, porém destacam que esta abordagem ainda é muito empírica. Estudos mais funcionais passaram a relacionar o desenvolvimento da arquitetura das plantas com o valor nutricional da forragem colhida pelos animais. Em pesquisa realizada com *Dactylis glomerata* em condições ambientais constantes, Caloin e Yu (1984) observaram resultados que possibilitaram relacionar as mudanças progressivas na composição de nitrogênio nas plantas à existência e proporção de dois componentes principais: o componente estrutural e o componente de armazenamento, também conhecido como componente metabólico.

A porção metabólica das plantas é composta principalmente por tecidos diretamente associados à fotossíntese e ao processo de crescimento, e possuem alta concentração de nitrogênio. Enquanto o componente estrutural é composto por tecidos associados à arquitetura da planta e possuem baixa concentração de nitrogênio (LEMAIRE; BELANGER, 2019). De forma semelhante, a redução da digestibilidade com o incremento da produção de forragem pode ser resultado de processos que envolvem o aumento da proporção de componentes estruturais em relação aos componentes metabólicos e o amadurecimento da planta, e ambos estão ligados ao seu crescimento (LEMAIRE; BELANGER, 2019). De acordo com Bauer *et al.* (2015), cada tecido apresenta um potencial de digestibilidade, que varia com a espécie e as condições ambientais, e essa proporção influencia o valor nutricional de gramíneas forrageiras. Os componentes metabólico e estrutural estão ligados às características morfológicas e estruturais das plantas. Enquanto o componente metabólico se relaciona com a área foliar específica da planta, ou o índice de área foliar da cultura, o componente estrutural está ligado à altura do dossel, e espessura da folha (LEMAIRE *et al.*, 2007).

Em situações de exclusão de pastejo ou com pastejo de baixa intensidade ocorre um acúmulo de forragem que não é consumida pelos animais, desta forma, as lâminas foliares

atingem sua duração de vida, senescem e acumulam material morto. Além disso, à medida que a planta cresce há uma maior deposição de componente estrutural em relação ao metabólico, principalmente em estruturas de sustentação. Portanto, a variação que ocorre na composição estrutural do pasto (folhas, colmos e material senescente) ao longo do tempo resultará na redução no teor de proteína e digestibilidade da forragem consumida (LEMAIRE; BELANGER, 2019).

Jaurena *et al.* (2018) testaram a correlação entre características estruturais (proporção de material verde e altura) e atributos da qualidade da forragem (PB, FDA e FDN) em diferentes estações de crescimento de uma pastagem natural no Uruguai. Observou-se uma alta correlação entre a porcentagem de material verde e PB, e todas as variáveis avaliadas apresentaram correlações mais altas no período de outono inverno, demonstrando o potencial do uso da % de material verde como preditor do valor nutricional da pastagem natural, especialmente na estação fria.

A relação entre a redução do valor nutricional e a evolução do comprimento da lâmina foliar, e a influência do processo de envelhecimento da lâmina foliar na qualidade da forragem foi descrita por Agnusdei *et al.* (2012) e Insua, Agnusdei e Di Marco (2017). Em estudo realizado em festuca (*Festuca arundinacea*), Insua *et al.* (2018) avaliaram os efeitos da idade e comprimento das lâminas foliares na dinâmica de FDN, e digestibilidade da FDN (DFND) e da matéria seca (DMS) e nas características morfogênicas. Observou-se redução da DFND e DMS com o aumento da idade e comprimento da folha, este efeito está relacionado ao tamanho da bainha e as variações na taxa de aparecimento e de alongação foliar (INSUA *et al.*, 2018). Embora este estudo tenha sido realizado em festuca, os autores destacam que os parâmetros morfogênicos como preditores do valor nutritivo da forragem podem ser utilizados em outras gramíneas, temperadas ou tropicais.

Desta forma, entender a evolução do acúmulo da biomassa e do valor nutricional até alcançar um ponto de máxima produção de forragem de espécies dominantes de comunidades vegetais das pastagens naturais da América do Sul representaria um ponto de grande importância na aplicação de estratégias de manejo. Portanto, o conhecimento das bases morfogenéticas e da dinâmica de crescimento e do valor nutricional de espécies dominantes permitirá maior segurança na tomada de decisões de diferimentos nos sistemas produtivos baseados em pastagens nativas.

## 2.4 MORFOGÊNESE EM GRAMÍNEAS

Com o avanço nos estudos relacionados ao manejo de pastagens, as pesquisas passaram a ter um enfoque mais analítico e explicativo dos processos que envolvem experimentos de pastejo (GARAGORRY, 2008). A produtividade de uma vegetação é determinada por um grupo de fatores capazes de agir sobre os processos principais de produção da biomassa vegetal, e pela resposta de cada componente genotípico da população (NABINGER, 1996). O estudo das características morfofisiológicas busca compreender os processos de crescimento das plantas, bem como, a adaptação destas às alterações ambientais.

A morfogênese vegetal pode ser definida como a dinâmica de geração e expansão das estruturas das plantas no espaço (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996), ela descreve mecanismos envolvidos no crescimento e desenvolvimento de folhas e perfilhos vegetais. Os perfilhos representam a unidade básica de crescimento das gramíneas, e possuem seu desenvolvimento baseado na diferenciação de fitômeros, que por sua vez, são compostos por lâmina foliar, bainha, nó, entrenó e gema axilar (NELSON, 2000).

As características morfogênicas e estruturais, definidas pela morfogênese, descrevem a dinâmica do fluxo de tecidos nas plantas forrageiras (LEMAIRE; AGNUSDEI, 2000), caracterizada pelos processos de crescimento, senescência e decomposição de tecidos. Segundo Gomide *et al.* (2006), o estudo das características morfofisiológicas utilizando a técnica de perfilhos marcados, permite que as recomendações técnicas sejam baseadas nos processos de crescimento das plantas. Isso se faz possível com o fornecimento de informações detalhadas do crescimento das plantas através de avaliações individuais (SANTOS, 2012).

A morfogênese desempenha um importante papel na produção em sistemas de pastejo, pois auxilia na compreensão dos sistemas a fim de permitir um balanço adequado entre a maximização da produção de forragem e a otimização do uso dessa forragem, como descrito por PARSONS *et al.* (1988). Desta forma, a interpretação adequada do efeito do manejo nas condições da pastagem, e especialmente dos diferimentos, pode ser aprimorada com estudos que tomam por base o controle das características morfofisiológicas.

### **3 HIPÓTESES**

- i) Plantas submetidas à maiores períodos de diferimento apresentarão maior proporção de colmos e material morto e bainhas na massa de forragem e isso estará diretamente relacionado com a perda de valor nutricional.
- ii) Espécies de gramíneas de ciclo metabólico C3 permitirão períodos de diferimento mais longos sem grandes perdas no valor nutricional.
- iii) Gramíneas nativas com baixo conteúdo de matéria seca nas folhas e alta área foliar específica serão mais aptas para diferimentos curtos que longos devido à redução do valor nutricional pela senescência dos tecidos foliares.
- iv) A época do ano em que é realizado o diferimento afeta o crescimento e o valor nutricional de gramíneas diferidas.
- v) As plantas poderão ser agrupadas conforme as respostas do valor nutricional nos diferentes intervalos de diferimento.

### **4 OBJETIVOS**

#### **4.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a capacidade de acúmulo de forragem e a variação no valor nutricional de espécies nativas de distintos grupos funcionais e diferentes rotas metabólicas em períodos crescentes de diferimento do pasto em diferentes épocas do ano.

#### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i) Estimar os teores de proteína bruta e energia digestível de gramíneas nativas em diferentes períodos de diferimento em diferentes épocas do ano.
- ii) Quantificar os atributos morfogênicos de gramíneas nativas submetidas a diferentes períodos de diferimento em diferentes épocas do ano.
- iii) Estimar características produtivas, estruturais e morfogênicas que permitam a modelagem da dinâmica de acúmulo e valor nutricional da forragem de espécies nativas em condições de diferimento em diferentes épocas do ano.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na cidade de Tacuarembó, na Estação Experimental do Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA Tacuarembó). A área experimental está localizada a 31°44'18,5" Sul e 55°58'47,9" Oeste, segundo a classificação de Köppen o clima é subtropical úmido (Cfa), a temperatura varia entre 11,5° C e 25°C, com média anual de 17,9°C, e a precipitação média anual é de 1280 mm (BEMHAJA; ANTUNEZ, 2000).

O estudo foi dividido em experimentos conduzidos ao ar livre em duas épocas do ano que antecedem os períodos mais críticos para a produção forrageira em pastagens naturais dos ecossistemas campestres da América do Sul. O experimento 1 foi realizado no período de primavera a verão, de 8 de novembro de 2019 a 14 de fevereiro de 2020, e o experimento 2 de outono a inverno, ocorreu entre 25 de março de 2020 a 20 de agosto de 2020.

Foram utilizadas plantas originárias de propágulos vegetativos coletados a campo e implantadas em uma superfície central de 20 cm de diâmetro em vasos de 12 litros, com diâmetro superior de 30 cm e inferior de 21cm. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial considerando a interação entre cinco intervalos de diferimento, seis espécies de gramíneas nativas, e seis repetições por espécie em cada tratamento, onde as unidades experimentais foram os vasos (6 espécies × 5 intervalos de diferimento × 6 repetições por espécie em cada tratamento), totalizando 180 unidades.

Foram avaliadas seis espécies de gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata” representativas de distintos grupos funcionais (CRUZ *et al.*, 2019), dos quais, quatro foram espécies C<sub>4</sub> (*Paspalum notatum* (grama-forquilha), *Paspalum dilatatum* (capim-melador), *Andropogon lateralis* (capim-caninha) e *Mnesithea selloana* (capim cola-de-lagarto)) e duas espécies, C<sub>3</sub> (*Nassella neesiana* (flechilha) e *Bromus auleticus* (cevadilha crioula)). As amostras de *P. dilatatum* são de ecotipos pentaploides, e *P. notatum* de ecotipo diploide, ambos coletadas em uma área de solo arenoso. Nessa mesma região foram coletadas as amostras de *A. lateralis*, *M. selloana* e *B. auleticus*, dos quais não foi possível identificar o ecotipo. *N. neesiana*, foi coletada em uma área de solo com formação de basalto.

O substrato utilizado para o cultivo das plantas possuía as seguintes características: pH : 5,8, Carbono orgânico: 5,5%, fósforo Bray: 38 ppm, potássio 0,46 meq/100 g, cálcio: 16,6 meq/100 g. Para garantir condições não limitantes ao crescimento das plantas, imediatamente após cada corte, em todos os tratamentos, as plantas foram fertilizadas com uma dose de 2,2 g de ureia e 1,4 g de adubo 7:40:0 (NPK), o que equivale a 40 kg de N/ha e 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Além disso, ao longo de todo o experimento, foram aplicadas irrigações diárias de

aproximadamente um litro de água por vaso, mantendo um nível mínimo de 50% de disponibilidade de água no solo.

Os tratamentos foram cinco intervalos de diferimento baseados na soma térmica (°C) 450, 900, 1350, 1800 ou 2250. O experimento de diferimento de primavera a verão teve início em 08 de novembro de 2019, e o de outono a inverno em 15 de março de 2020. O início dos experimentos correspondeu ao primeiro corte de todos os tratamentos, e foi também a data inicial de acúmulo para o tratamento com intervalo de 2250 °C, o qual só seria cortado novamente ao final do experimento. A cada 450 °C um novo tratamento era iniciado em ordem decrescente de intervalos, e quando todas os intervalos propostos foram atingidos realizou-se o corte final, do qual foram coletadas as amostras de forragem para as análises laboratoriais.

Na Figura 1 a e b, estão demonstrados o estado das plantas ao final dos experimentos, os intervalos de diferimento estudados, bem como a data de início de cada intervalo de diferimento e o número de dias nos experimentos de primavera a verão e outono a inverno. A soma térmica (em °C) foi calculada a partir da soma da temperatura média acima de zero de cada dia.

Figura 1- Plantas ao final dos experimentos, intervalos de diferimento, datas de início de cada diferimento, e número de dias de diferimento de primavera a verão (a) e outono a inverno (b).

a) *Nassella neesiana*



*Bromus auleticus*



*Andropogon lateralis*



*Mnesithea selloana*



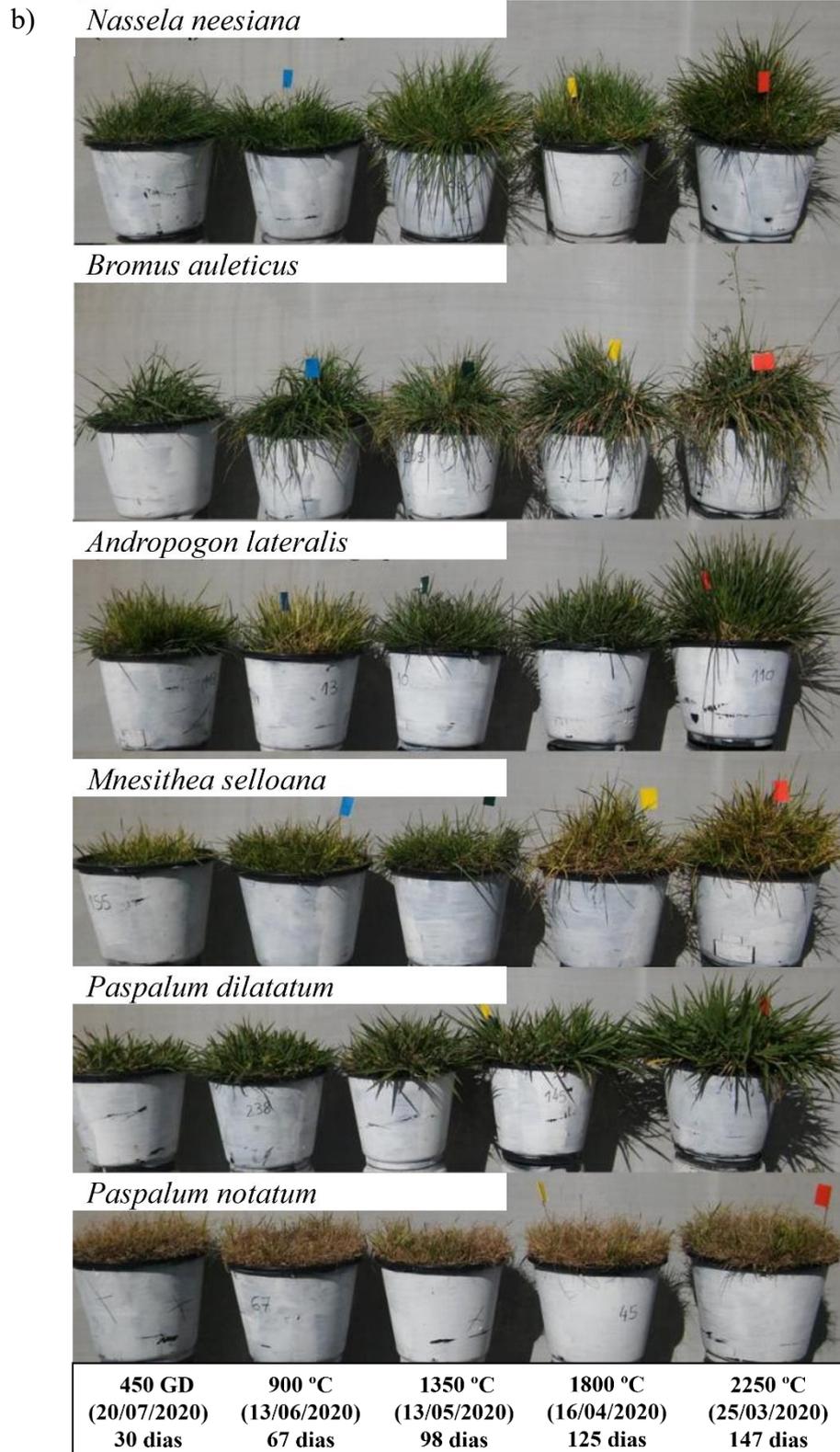
*Paspalum dilatatum*



*Paspalum notatum*



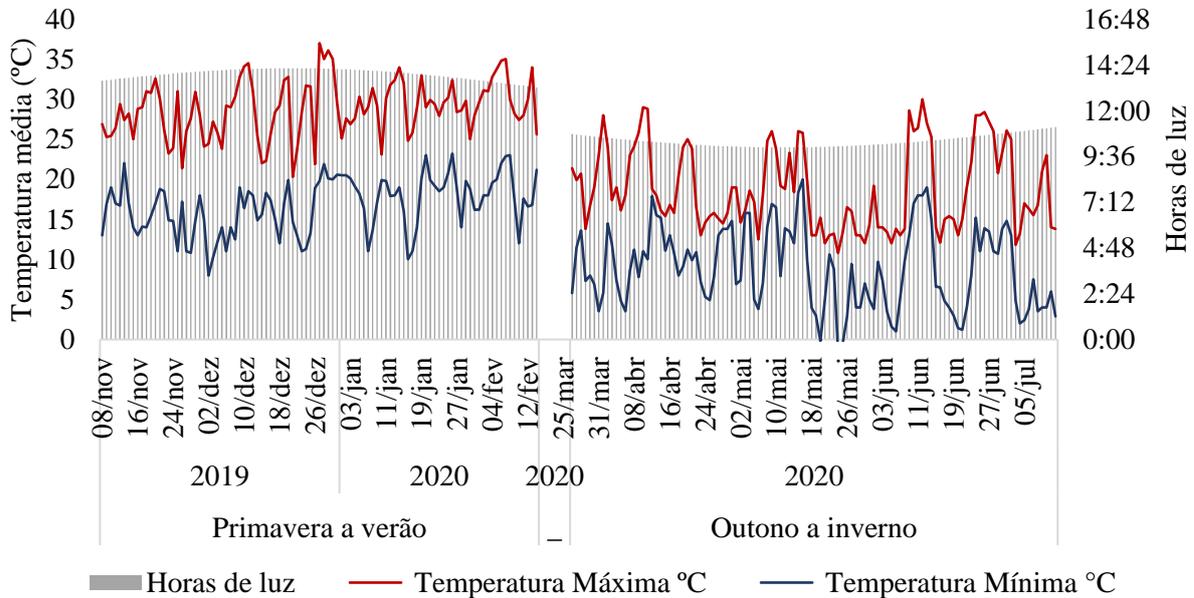
450 GD	900 °C	1350 °C	1800 °C	2250 °C
(27/01/2020)	(07/01/2020)	(18/12/2019)	(28/11/2019)	(08/11/2019)
18 dias	38 dias	58 dias	78 dias	98 dias



As temperaturas médias foram coletadas diariamente no banco de dados agroclimáticos da estação meteorológica do INIA Tacuarembó, e o número diário de horas de luz foi obtido na página (MAPLOGS, 2022) (Figura 2). No experimento de primavera a verão, a temperatura média diária foi de 22°C, a média de temperatura máxima foi de 29 °C e a média mínima foi de 17°C (Figura 2). O tempo médio de luz do dia foi de 13h54 min. No experimento de outono a

inverno a temperatura média foi de 14°C, variando de 9 a 17°C, embora em três ocasiões foram identificadas temperaturas negativas. O tempo médio de luz diário foi de 10h 24 min.

Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas diárias, e horas de luz diárias dos experimentos de primavera a verão e outono a inverno.



### *Caracterização foliar e avaliações morfológicas*

No experimento de primavera a verão foram realizadas as avaliações dos atributos foliares, área foliar específica (AFE,  $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ ) e teor de matéria seca (TMS,  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) que foram medidas ao de cada tratamento na última folha completamente expandida de cada perfilho, em três perfilhos por vaso, em todas as unidades experimentais. As lâminas foliares foram coletadas, reidratadas por 12h, e posteriormente pesadas em uma balança de precisão. Foi tomada a largura e comprimento de cada folha, com o auxílio de uma régua, e área foliar foi medida através do scanner Leaf Area Meter (CI-202 CID, Scanman, Logitech, Newark, California, USA). Posteriormente, as amostras foram levadas à uma estufa com circulação de ar forçado a 60°C até atingirem peso constante, e novamente pesadas para determinação do peso seco. O TMS foi obtido dividindo-se o peso verde pelo peso seco e multiplicando por 1000. A AFE foi obtida dividindo-se a área foliar pelo peso seco da folha.

As avaliações morfológicas foram realizadas nos últimos 900 °C de experimento, nos tratamentos de 900, 1350, 1800 e 2250 °C. Para determinação das variáveis foi utilizada a técnica de “perfilhos marcados, descrita por (CARRERE; LOUAULT; SOUSSANA, 1997). Em cada unidade experimental foram identificados três perfilhos com fios coloridos, somando 18 por espécie em cada tratamento, totalizando 432 perfilhos avaliados. As avaliações foram

realizadas duas vezes por semanas (segunda e quinta-feira), e em cada avaliação foi contado o número de folhas em cada perfilho, e descrito o estado de cada folha como: folha em expansão, completamente expandida (após o aparecimento da lígula), senescendo e morta. A partir dos dados obtidos foram calculadas a taxa de aparecimento de folhas (TAF), filocrono, duração da alongação foliar (DEF) e tempo de vida da folha (TVF). A TAF (folhas/°C) foi calculada dividindo o número de folhas surgidas por vez (1) pelo acúmulo térmico entre a aparição de duas folhas consecutivas. O filocrono, em °C, foi calculado como o valor inverso da TAF. A DEF, em °C, por sua vez, foi obtida através do produto entre o filocrono e o número de folhas em expansão, e o TVF, em °C, pelo produto entre o filocrono e o número de folhas vivas por perfilho.

#### *Produção de forragem e valor nutricional*

Ao final dos experimentos, quando todos os intervalos de diferimentos foram atingidos, todas as plantas (180 UA) foram cortadas a uma altura de 5 cm do solo, com o auxílio de um aro de metal de 62,8 cm<sup>2</sup> para delimitação da área de colheita no centro do vaso. Após o corte, o material foi pesado e separado manualmente em folhas, colmos, bainhas e material morto (MM), os quais foram então secos em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 40°C por no mínimo 72 horas até atingir peso constante.

A massa de forragem (MF) acumulada (g) por vaso foi obtida através da soma do peso seco dos componentes estruturais. A contribuição dos componentes foi calculada dividindo o peso seco de cada componente pela MF total acumulada em cada vaso.

Para análise laboratorial, os componentes estruturais previamente secos da biomassa de forragem de cada unidade experimental foram agrupados novamente e moídas em um moinho Thomas-Wiley (Thomas Scientific, Swedesboro, NY, peneira com malha de 1mm). O teor de PB foi analisado pelo método Dumas de acordo com o procedimento 968.06 da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005), em um analisador elementar LECO CHN 628 (United States, Michigan, 2018). Para o ajuste do equipamento foram utilizadas 10 amostras de composição conhecida (alfafa) e 3 amostras de EDTA (material de referência do equipamento LECO). A cada 50 amostras analisadas, o equipamento foi novamente calibrado com o EDTA. Após analisadas todas as amostras, utilizou-se a diferenças dos tercis em relação à média para determinar os limites inferior e superior do grupo de amostras, desta forma, as análises que se encontraram fora destes limites foram repetidas. O N obtido através das análises foi multiplicado pelo fator de conversão 6,25 para obtenção da concentração de PB de cada amostra.

A digestibilidade da matéria orgânica (DMO) foi determinada *in situ*. Para tal, aproximadamente 1g de cada amostra seca e moída foi pesada em duplicata em bolsas de poliamida de 5 × 5 cm (40 μ de porosidade) e incubadas por 48 horas no rúmen de um boi fistulado, mantido em uma pastagem de *Cynodon* sp. Posteriormente, as bolsas foram retiradas do rúmen, lavadas em água corrente e levadas a uma estufa a 110°C por no mínimo 8h, e pesadas. As cinzas foram determinadas após combustão a 600°C por 3h, e a MO calculada por diferença de massa. O teor de MO digestível (MOD, g.g<sup>-1</sup> de MS) foi obtido como segue:  $(MO\ incubada(g) - MO\ residual(g)) / MS\ incubada(g)$  (KOZLOSKI *et al.*, 2018). O teor de energia digestível (ED, kcal/g) foi calculada multiplicando o teor de MOD por 4,409. Posteriormente, foi calculada a relação ED (kcal.kg<sup>-1</sup>MS):PB (g.kg<sup>-1</sup>MS).

### *Análises estatísticas*

Foi realizada a análise de variância dos indicadores produtivos (MF, % de folhas, % de colmos, % de bainhas e % de MM), do valor nutricional (PB e ED) dos atributos funcionais e características morfogênicas utilizando o comando PROC GLM no SAS.

A normalidade da distribuição dos resíduos de todas as variáveis estruturais e morfogênicas foi testada considerando distribuição normal a um P < 0,005. As variáveis TVF e % MM apresentaram distribuição não normal e foram transformadas pelo logaritmo e raiz quadrada, respectivamente.

Quando detectadas diferenças significativas, o comando PDIFF foi utilizado para separar as médias dos tratamentos com um intervalo de confiança de 95% no teste de Tukey. O modelo matemático referente à análise das variáveis estudadas foi representado por:

$$Y_{ij} = \mu + I_i + E_j + (TE)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Pelo modelo,  $Y_{ij}$  representa as variáveis dependentes;  $\mu$  é a média de todas as observações;  $I_i$  corresponde ao efeito dos intervalos de diferimento;  $E_j$  corresponde ao efeito das espécies;  $(IE)_{ij}$  representa a interação entre os tratamentos e espécies;  $\varepsilon_{ij}$  corresponde ao erro experimental residual.

As inter-relações entre as variáveis produtivas, estruturais, morfogênicas e nutricionais de gramíneas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> nos experimentos de primavera a verão e outono a inverno foram analisadas através da análise de componentes principais utilizando o software R. Os modelos de regressões múltiplas foram utilizados para avaliar os efeitos dos parâmetros estudados nas variáveis PB e ED nos períodos de primavera a verão e outono a inverno mediante o modelo de seleção Stepwise do software SAS combinando todas as variáveis possíveis (tempo térmico (°C), MF acumulada, % de folhas, % de colmos, % de bainhas e % de MM, tempo de vida da

folha, filocrono, duração de alongação foliar e taxa de aparecimento foliar). O critério de seleção dos modelos de regressões múltiplas foi de uma variável para cada 20 repetições de forma que fossem incluídas no máximo duas variáveis em cada modelo, e apenas variáveis com nível de significância  $<0,005$  foram consideradas.

## RESULTADOS

### *Atributos foliares e características morfogênicas*

Os atributos foliares das gramíneas estudadas no período de primavera a verão (TMS e AFE) foram influenciadas pelos intervalos de diferimento e pelas espécies estudadas (Tabela 1). Não foi observada interação tratamento  $\times$  espécie (T $\times$ E) significativa para estas variáveis. O TMS de folhas de gramíneas submetidas ao período de diferimento de 450 °C foi inferior aos demais períodos (P=0,001). Quando comparadas as espécies estudadas, *N. neesiana* apresentou os maiores valores (P<0,001). A AFE foi decrescente com o aumento dos tratamentos (P=0,012). As espécies avaliadas apresentaram diferenças na AFE (P<0,001), dos quais, as duas espécies do gênero *Paspalum* apresentaram os maiores valores de AFE, enquanto os menores valores foram observados nas gramíneas hibernais *N. neesiana* e *B. auleticus*.

Tabela 1 - Atributos foliares de gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata” submetidas dos à distintos períodos de diferimento de primavera a verão.

<b>Tratamento (T)</b>	<b>TMS (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>AFE (m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>)</b>
450 °C	284b	18,7a
900 °C	320a	17,3ab
1350 °C	333a	18,0b
1800 °C	338a	15,5bc
2250 °C	339a	14,7c
<b>Espécie (E)</b>		
<i>A. lateralis</i>	335bc	15,3c
<i>B. auleticus</i>	314cd	12,1d
<i>M. Selloana</i>	342b	17,9b
<i>N. neesiana</i>	374a	13,2cd
<i>P. dilatatum</i>	279e	22,5a
<i>P. notatum</i>	292de	20,1ab
<i>Probabilidade</i>		
T	0,002	0,012
E	<0,001	<0,001
Interação T*E	0,699	0,690

Nenhuma das características morfológicas apresentou diferenças entre os tempos de diferimentos avaliados, em ambos os experimentos ( $P>0,05$ ). Foram observadas diferenças significativas entre as espécies em ambos os experimentos avaliados (Tabela 2). No experimento de primavera a verão as maiores TAF ( $P<0,001$ ) ocorrerem em perfilhos de *P. notatum* e *M. selloana* e a menor foi observada em perfilhos de *B. auleticus*. O maior filocrono ocorreu em *B. auleticus* e os menores em *P. notatum* e *M. selloana* ( $P<0,001$ ) (Tabela 2). As DEF mais longas ocorreram em *P. notatum* e *B. auleticus* que foram significativamente maiores que as demais espécies. A espécie com a maior TVF foi *A. lateralis*, enquanto a de menor foi *P. dilatatum*.

Tabela 2 - Características morfológicas em diferentes gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata” submetidas à distintos períodos de diferimento de primavera a verão e outono a inverno.

Experimento	Espécie	TAF (folhas.°C <sup>-1</sup> )	Filocrono (°C)	DEF (°C)	TVF (°C)
(1) Primavera verão	<i>A. lateralis</i>	0,0040 <sup>cd</sup>	245 <sup>bc</sup>	311 <sup>c</sup>	946 <sup>a</sup>
	<i>B. auleticus</i>	0,0033 <sup>d</sup>	306 <sup>a</sup>	489 <sup>a</sup>	777 <sup>ab</sup>
	<i>M. Selloana</i>	0,0067 <sup>a</sup>	149 <sup>d</sup>	280 <sup>c</sup>	668 <sup>b</sup>
	<i>N. neesiana</i>	0,0034 <sup>cd</sup>	287 <sup>ab</sup>	361 <sup>bc</sup>	693 <sup>b</sup>
	<i>P. dilatatum</i>	0,0046 <sup>bc</sup>	222 <sup>bc</sup>	275 <sup>c</sup>	578 <sup>b</sup>
	<i>P. notatum</i>	0,0056 <sup>ab</sup>	178 <sup>cd</sup>	468 <sup>ab</sup>	789 <sup>ab</sup>
	<b>Probabilidade</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,053</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>
(2) Outono inverno	<i>A. lateralis</i>	0,0030	345	606 <sup>ab</sup>	964 <sup>a</sup>
	<i>B. auleticus</i>	0,0029	342	519 <sup>bc</sup>	766 <sup>ab</sup>
	<i>M. Selloana</i>	0,0041	245	466 <sup>cd</sup>	775 <sup>ab</sup>
	<i>N. neesiana</i>	0,0035	286	341 <sup>d</sup>	647 <sup>b</sup>
	<i>P. dilatatum</i>	0,0039	255	388 <sup>cd</sup>	584 <sup>b</sup>
	<i>P. notatum</i>	0,0039	253	678 <sup>a</sup>	799 <sup>ab</sup>
	<b>Probabilidade</b>	<b>0,104</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,005</b>

TAF = tempo de aparecimento da folha; DEF= duração da elongação foliar; TVF= tempo de vida da folha; °C= graus dia.

No diferimento de outono a inverno tanto a TAF quanto o filocrono não apresentaram diferenças entre as espécies. Por sua vez, *P. notatum* e *A. lateralis* apresentaram a maior DEF, e *N. neesiana* e *P. dilatatum* a menor DEF. Assim como no experimento de primavera a verão o maior TVF ocorreu em *A. lateralis* e o menor em *P. dilatatum*.

### *Massa de forragem e contribuição de componentes estruturais do pasto*

A MF acumulada durante o período de primavera a verão foi influenciada pelos intervalos de diferimento e pela espécie de gramínea ( $P < 0,05$ ). A interação entre os fatores foi significativa ( $P < 0,05$ , Figura 3).

A MF aumentou linearmente, com o aumento do intervalo de diferimento nas espécies C3 (*B. auleticus* e *N. neesiana*) ( $P < 0,001$ , Figura 3), em *M. selloana*, *P. dilatatum* e *P. notatum* os intervalos de diferimentos apresentaram efeito quadrático sobre a MF ( $P < 0,023$ ), e em *A. lateralis* um efeito cúbico foi registrado ( $P = 0,042$ ). *Paspalum dilatatum* apresentou maior produção de forragem, sendo que os tratamentos de maior intervalo de descanso (1800 e 2250 °C) não apresentaram diferenças significativas nesta espécie.

Observou-se uma forte redução na produção de forragem entre os experimentos de primavera a verão e o de outono a inverno, principalmente nas gramíneas de ciclo estival. Em média as espécies C4 tiveram uma redução de 80% na produção de forragem, enquanto nas espécies C3 essa redução foi de 50%.

No período de outono a inverno, a interação entre tratamento e espécies estudadas também foi significativa ( $P < 0,05$ ). A MF foi linearmente crescente nas espécies *M. selloana*, *N. neesiana* e *P. notatum* ( $P < 0,001$ ) (Figura 3), enquanto nas demais espécies um efeito quadrático foi observado ( $P < 0,002$ ).

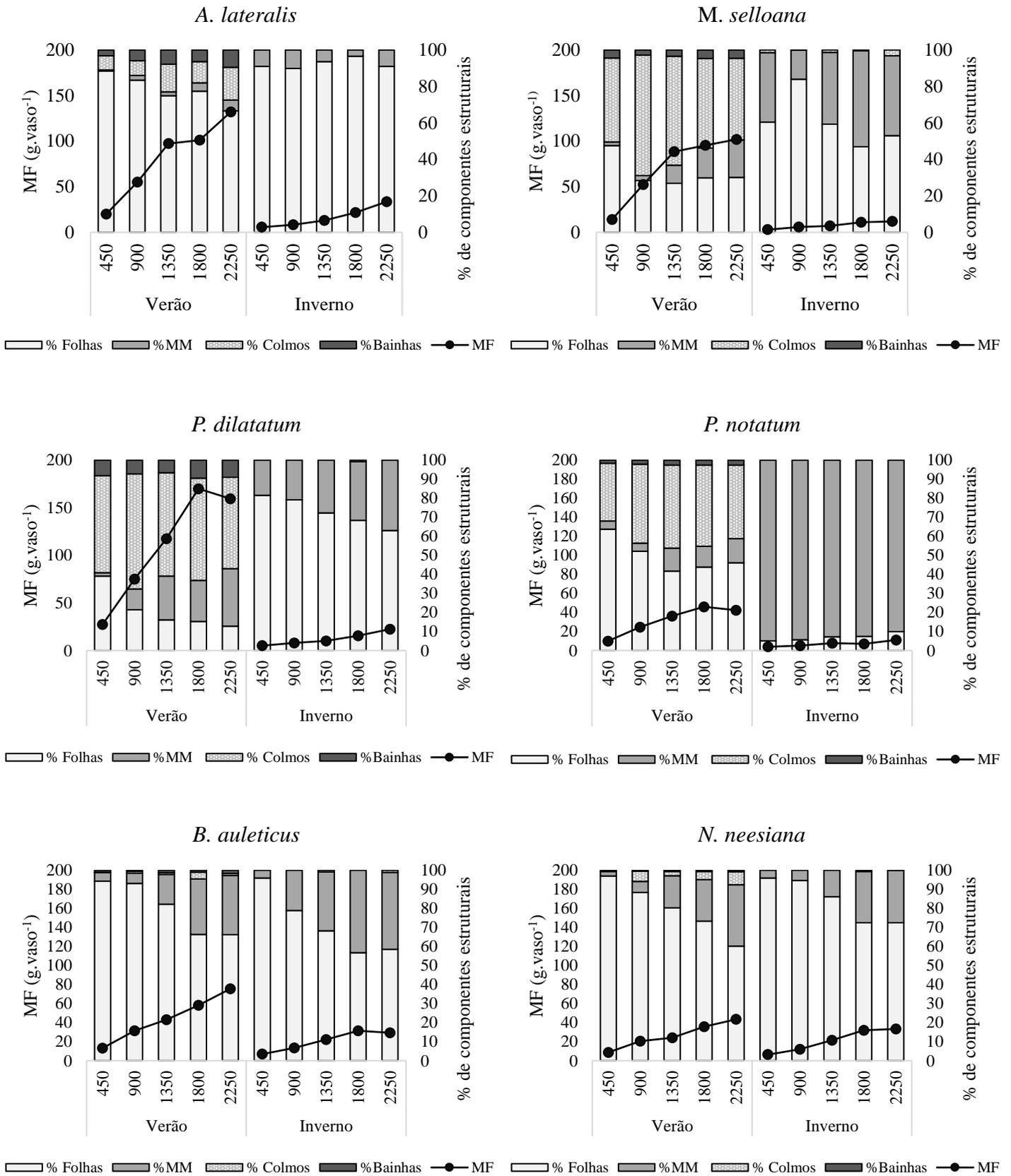
As espécies de gramíneas C3 tiveram o maior MF nos tratamentos de 1800 e 2250 °C. As espécies de gramíneas C4 tiveram MF semelhantes no tratamento de 450 °C (5g) ( $P > 0,005$ ), no tratamento 2250 °C ( $P < 0,001$ ), quando a maior produção foi atingida, as médias foram diferentes, em *A. lateralis* (33,5g), *P. dilatatum* (22,5g) e *P. notatum* e *M. selloana* (11,3g).

No período de primavera a verão, todas as espécies apresentaram redução na % de folhas ao longo dos períodos de diferimento ( $P < 0,05$ ). Em *B. auleticus* a contribuição de folhas na massa de forragem variou de 94% nos intervalos de 450 e 900 °C a 66% nos intervalos de 1800 e 2250 °C ( $P < 0,001$ ) (Figura 3). *S. neesiana* apresentou uma média de 93% de folhas nos dois intervalos de menor duração, e 60% no de maior ( $P = 0,001$ ).

Dentre as espécies gramíneas C4, *A. lateralis* foi a que apresentou maior contribuição de folhas, variando de 89% a 67% entre os intervalos de menor e maior duração ( $P = 0,0047$ ). *M. selloana* teve uma forte redução na % de folhas entre o intervalo de 450 °C e os demais, com médias de 47,8 e 29%, respectivamente ( $P < 0,001$ ), enquanto em *P. notatum* foi observada uma redução de 64% no intervalo de 450 °C para 44% nos três intervalos mais longos (0,002). *P. dilatatum* apresentou a menor contribuição de folhas dentre todas as espécies, e a maior redução na contribuição entre os períodos, com médias de 39% em 450 °C a 16% em 2250 °C ( $P < 0,001$ ).

A contribuição de material morto (MM) na massa de forragem na primavera a verão foi inversamente proporcional a de folhas, e foi influenciada pelas espécies ( $P < 0,001$ ) e intervalos de diferimento avaliados ( $P < 0,001$ ) (Figura 3). Espécies C<sub>3</sub> apresentaram a menor porcentagem de MM em relação às demais, seguidas de *A. lateralis* e *P. notatum*. Por fim, *M. selloana* e *P. dilatatum* apresentaram os maiores valores dessa variável, chegando a 32% no intervalo 2250 °C.

Figura 3 - Massa de forragem acumulada e contribuição de componentes estruturais de gramíneas nativas submetidas a distintos períodos de descanso nos períodos de primavera a verão e outono a inverno.



Barras representam o erro padrão da média; MF= massa de forragem; MM = material morto.

No período de outono a inverno a contribuição de folhas na MF não variou entre tratamentos nas espécies *A. lateralis* ( $P=0,052$ ) e *P. notatum* ( $P=0,054$ ) que apresentaram médias de 92% e 7%, respectivamente (Figura 3). *P. notatum* foi a espécie que teve a menor contribuição de folhas em todos os intervalos avaliados ( $P<0,05$ ), enquanto *A. lateralis* foi uma das espécies que manteve as maiores médias ao longo dos intervalos, com diferenças importantes em relação às demais espécies nos períodos mais longos de diferimento (1800 e 2250 °C).

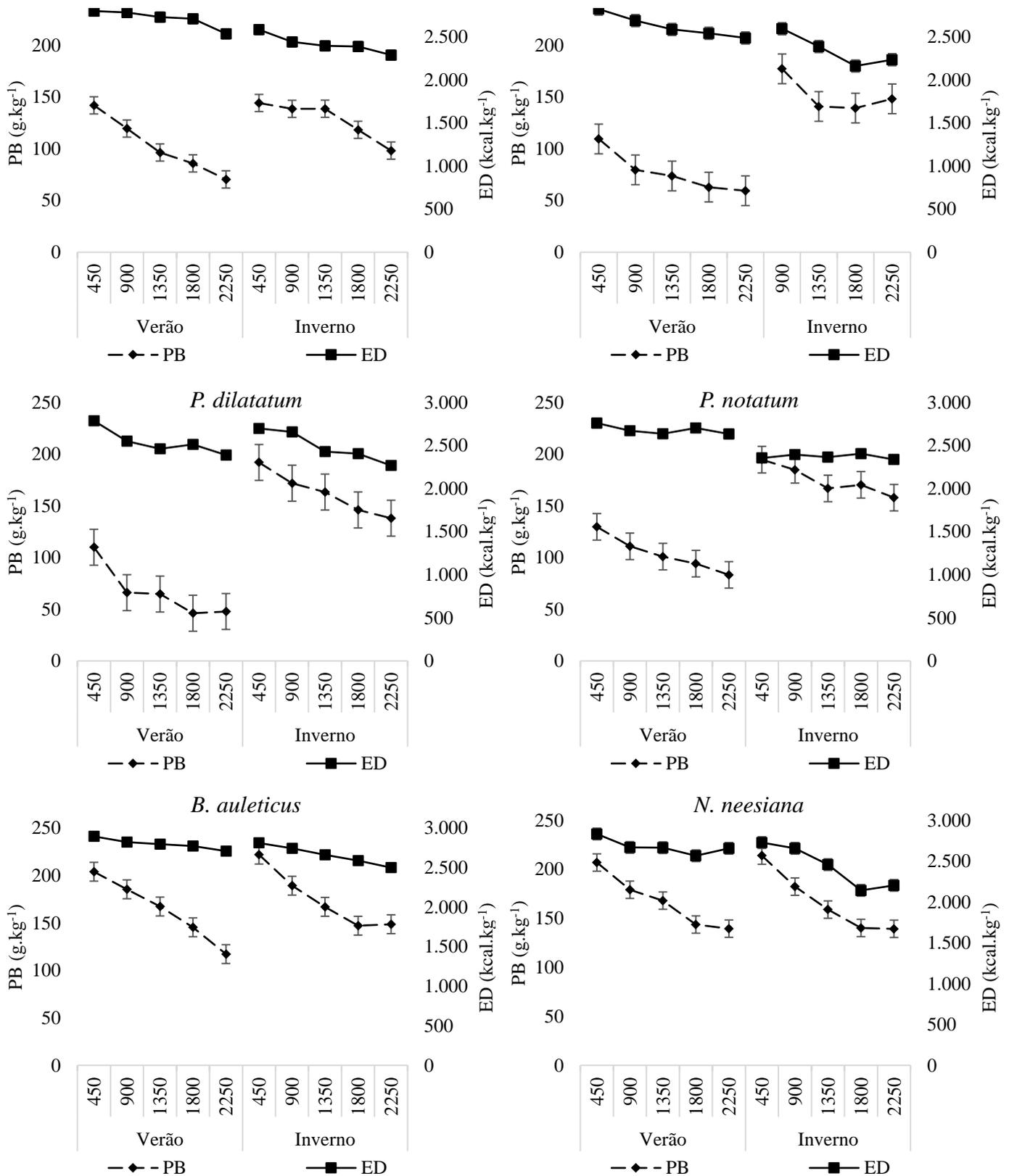
As espécies gramíneas  $C_3$  tiveram altas contribuições de folhas ao longo dos intervalos de descanso, principalmente *N. neesiana* com médias que variaram de 95% nos intervalos de 450 e 900 °C e 72% nos tratamentos de 1800 e 2250 °C ( $P<0,001$ ). A % de folhas também foi variável em *B. auleticus* ( $P<0,001$ ) que apresentou alta contribuição no menor intervalo (96%), e uma forte redução desta variável, chegando a 58% nos intervalos de 1800 e 2250 °C. A contribuição de folhas em *P. dilatatum* variou entre os intervalos de diferimento ( $P=0,022$ ) de 82% no intervalo 450 °C a 63% no intervalo de 2250 °C, e *M. selloana* teve a maior contribuição de folhas no tratamento 900 °C (84%), e a menor no tratamento 1800°C (47%) ( $P=0,005$ ).

A contribuição de MM também não foi influenciada pelos intervalos de diferimento nas espécies *A. lateralis* ( $P=0,052$ ) e *P. notatum* ( $P=0,054$ ) que apresentaram médias de 8% e 93%, respectivamente (Figura 3). Nas espécies  $C_3$  a contribuição de MM variou de 4% no tratamento 450°C, em ambas as espécies, a 42% em *B. auleticus* ( $P<0,001$ ) e 27% em *N. neesiana* ( $P<0,001$ ) nos tratamentos 1800 e 2250 °C. *P. dilatatum* teve variação de 18% a 37% entre os tratamentos 450 e 2250 °C, respectivamente ( $P=0,024$ ), enquanto *M. selloana* teve a menor contribuição de MM na massa de forragem no tratamento 900°C (16%) e a maior nos tratamentos 1800 e 2250 (48%) ( $P=0,009$ ). A porcentagem de colmos e bainhas não foi influenciada pelos intervalos de descanso avaliados, e contribuiu com menos de 1% da MF ( $P=0,233$ ).

### *Proteína bruta*

O teor de PB das gramíneas durante a primavera a verão foi influenciado pelos intervalos de descanso e pelas espécies de plantas estudadas ( $P<0,005$ ), sendo a interação entre estes fatores significativa ( $P<0,001$ ) (Figura 4). Os intervalos de descanso influenciaram negativamente nos teores de PB, com efeito quadrático em *M. selloana* ( $P=0,007$ ) e *A. lateralis* ( $P=0,046$ ), cúbico em *P. dilatatum* ( $P=0,03$ ), e linear nas demais espécies ( $P<0,001$ ).

Figura 4 - Teores de energia digestível e proteína bruta em espécies de gramíneas nativas das pastagens da América do Sul submetidas a distintos intervalos de diferimento nos períodos de primavera a verão e outono a inverno.



Barras representam o erro padrão da média.

Quanto às diferenças entre espécies observou-se três diferentes comportamentos: 1) os maiores teores de PB ocorreram em gramíneas de ciclo hibernar (*N. neesiana* e *B. auleticus*), que foram semelhantes nos tratamentos 450 (209 g.kg<sup>-1</sup>), 900 (194 g.kg<sup>-1</sup>), 1350 (167 g.kg<sup>-1</sup>) e 1800 °C (144 g.kg<sup>-1</sup>). No entanto, no tratamento 2250 °C a contribuição de PB em plantas de *N. neesiana* (139 g.kg<sup>-1</sup>) foi maior que em *B. auleticus* (117 g.kg<sup>-1</sup>); 2) *A. lateralis* e *P. notatum* apresentaram teores intermediários de PB, que foram semelhantes entre as duas espécies nos tratamentos 450, 900, 1350, e 1800 °C, com médias de 136, 115, 98 e 90 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto no tratamento 2250 os teores de PB foram de 83 g.kg<sup>-1</sup> em *P. notatum* e 70 g.kg<sup>-1</sup> em *A. lateralis* (Figura 4); 3) *M. selloana* e *P. dilatatum* apresentaram os menores teores de PB, com maior concentração no tratamento de menor intervalo (110 g.kg<sup>-1</sup>), e forte redução nos demais tratamentos, chegando a 54 g.kg<sup>-1</sup> no de maior intervalo de diferimento.

Durante o outono e inverno *M. selloana* teve quantidade de forragem coletada no tratamento 450 °C insuficiente para a realização das análises de PB e ED. A interação entre tratamentos e espécies para o teor de PB foi significativa (P<0,05). Observou-se efeito decrescente linear dos intervalos de diferimento na PB das espécies *P. notatum* e *P. dilatatum* (P<0,05), e quadrático nas demais espécies (P<0,05). Os valores variaram de 144 g.kg<sup>-1</sup> a 98 g.kg<sup>-1</sup> em *A. lateralis*. No intervalo 450 °C as médias foram de 221; 213 e 191 g.kg<sup>-1</sup> nas espécies, *B. auleticus*, *N. neesiana* e *P. dilatatum*, respectivamente, enquanto no intervalo 2550 °C estas espécies apresentaram valores semelhantes (aproximadamente 140 g.kg<sup>-1</sup>). *M. selloana* teve variação de 177 g.kg<sup>-1</sup> no intervalo de 900 °C a 140 g.kg<sup>-1</sup> de PB nos intervalos de 1350 e 1800 °C. *P. notatum* apresentou média de 169 g.kg<sup>-1</sup> de PB, não variando entre os tratamentos de diferimento.

### *Energia digestível*

A interação entre tratamentos e espécies de plantas foi significativa para energia digestível (ED) durante a primavera a verão (P<0,001) e outono a inverno (P<0,001) (Figura 4). No estudo realizado durante a estação quente, a ED foi negativamente influenciada pelos intervalos de diferimento com exceção de *P. notatum* (P=0,07) que apresentou média de 2678 kcal.kg<sup>-1</sup> em todos os intervalos. Observou-se efeito cúbico decrescente da energia digestível na espécie *N. neesiana* e linear decrescente nas demais espécies (P<0,01). *P. dilatatum* apresentou variação de -17% na ED entre os intervalos de menor (2787 kcal.g<sup>-1</sup>) e maior descanso (2390 kcal.g<sup>-1</sup>), representando a espécie com a maior queda na digestibilidade ao longo dos intervalos, seguido de *M. selloana*, que teve uma variação de -13% (2787 a 2486

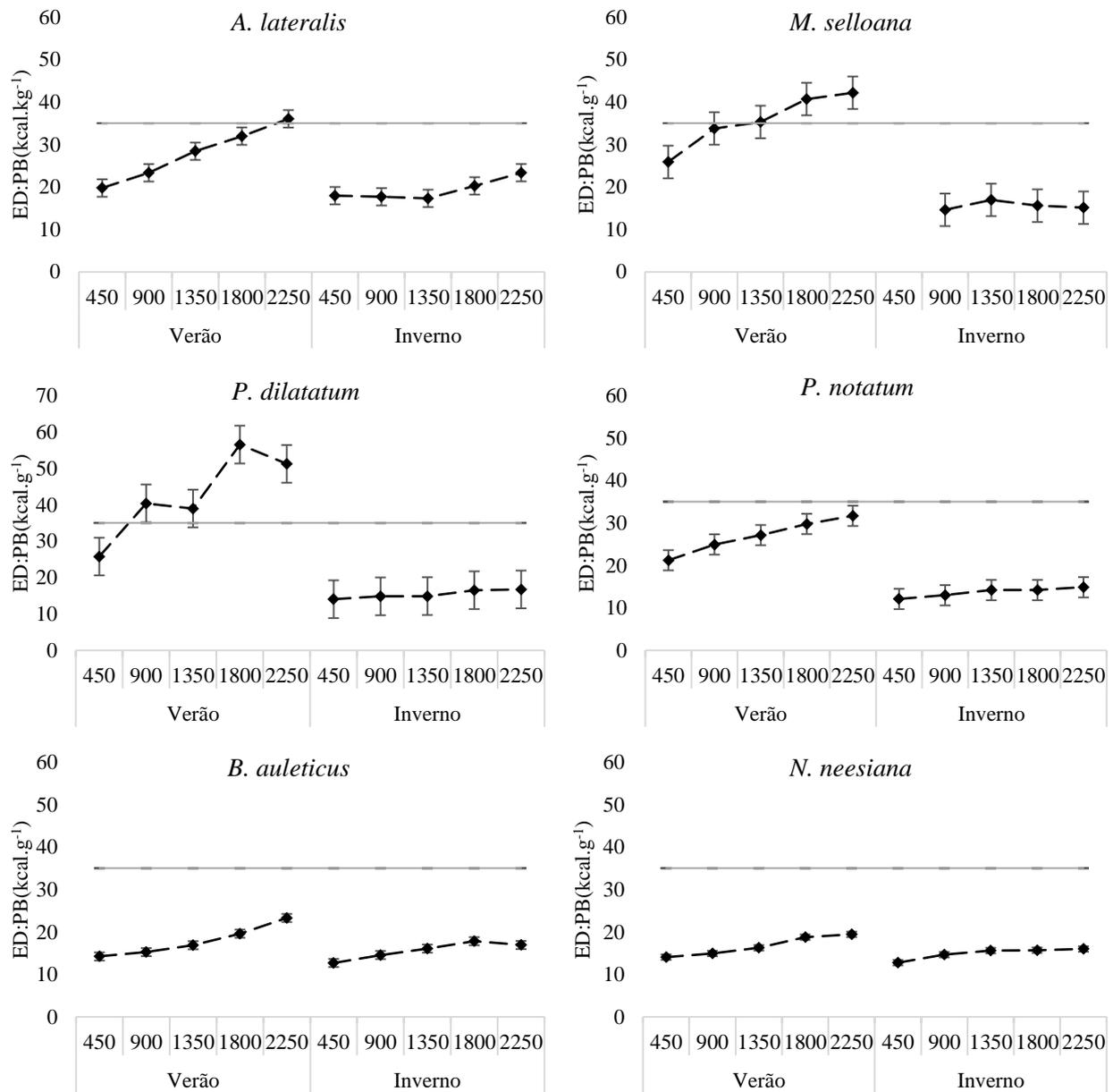
kcal.g<sup>-1</sup>). A ED em *A. lateralis* variou cerca de -10% entre os tratamentos de menor e maior intervalo, com médias de 2799 kcal.g<sup>-1</sup> e 2534 kcal.g<sup>-1</sup>, respectivamente. *S. neesiana* teve variação de -10%, no entanto, o menor teor de ED ocorreu no intervalo de 1800°C. *B. auleticus*, apresentou variação de -7% de 2893 a 2706 kcal.g<sup>-1</sup> entre os tratamentos de menor e maior intervalo de diferimento.

No período de outono a inverno, o efeito dos tratamentos não foi significativo para a ED em *A. lateralis*, *P. notatum* e *M. selloana* ( $P > 0,05$ ), que apresentaram médias de 2398, 2370 e 2308 kcal.kg<sup>-1</sup>, no entanto, os tratamentos impactaram negativamente e linearmente os teores de ED nas demais espécies ( $P < 0,05$ ). A maior redução na energia digestível no período de inverno ocorreu em *S. neesiana*, variando de 2727 a 2142 kcal.g<sup>-1</sup> (-27%). Em *B. auleticus* a variação foi de -12%, de 2810 a 2499 kcal.g<sup>-1</sup>. *P. dilatatum* apresentou redução de 2697 a 2267 kcal.g<sup>-1</sup> (-19%) entre os intervalos de menor e maior intervalo.

#### *Relação ED:PB*

A relação ED:PB foi superior ao limite crítico de 35 kcal.kg<sup>-1</sup> em pelo menos um intervalo de diferimento no período de primavera a verão nas espécies C<sub>4</sub> com exceção de *P. notatum* (Figura 5). *P. dilatatum* atingiu valores mais altos, acima de 50. As espécies C<sub>3</sub> apresentaram valores ao redor de 20, independente da quantidade de forragem acumulada. Por outro lado, no período de outono a inverno a relação ED:PB manteve-se abaixo de 25 em todas as espécies, no entanto, a produção de forragem nessa estação também foi baixa, tanto em espécies C<sub>3</sub> como C<sub>4</sub>.

Figura 5 - Relação entre os teores de energia digestível (ED) e proteína bruta (PB) no período de primavera a verão (a) e outono a inverno (b) em seis espécies de gramíneas nativas das pastagens da América do Sul.



Barras representam o erro padrão da média; Linha horizontal representa o valor da relação a partir do qual ocorre limitação nos teores de PB (35 kcal.g<sup>-1</sup>).

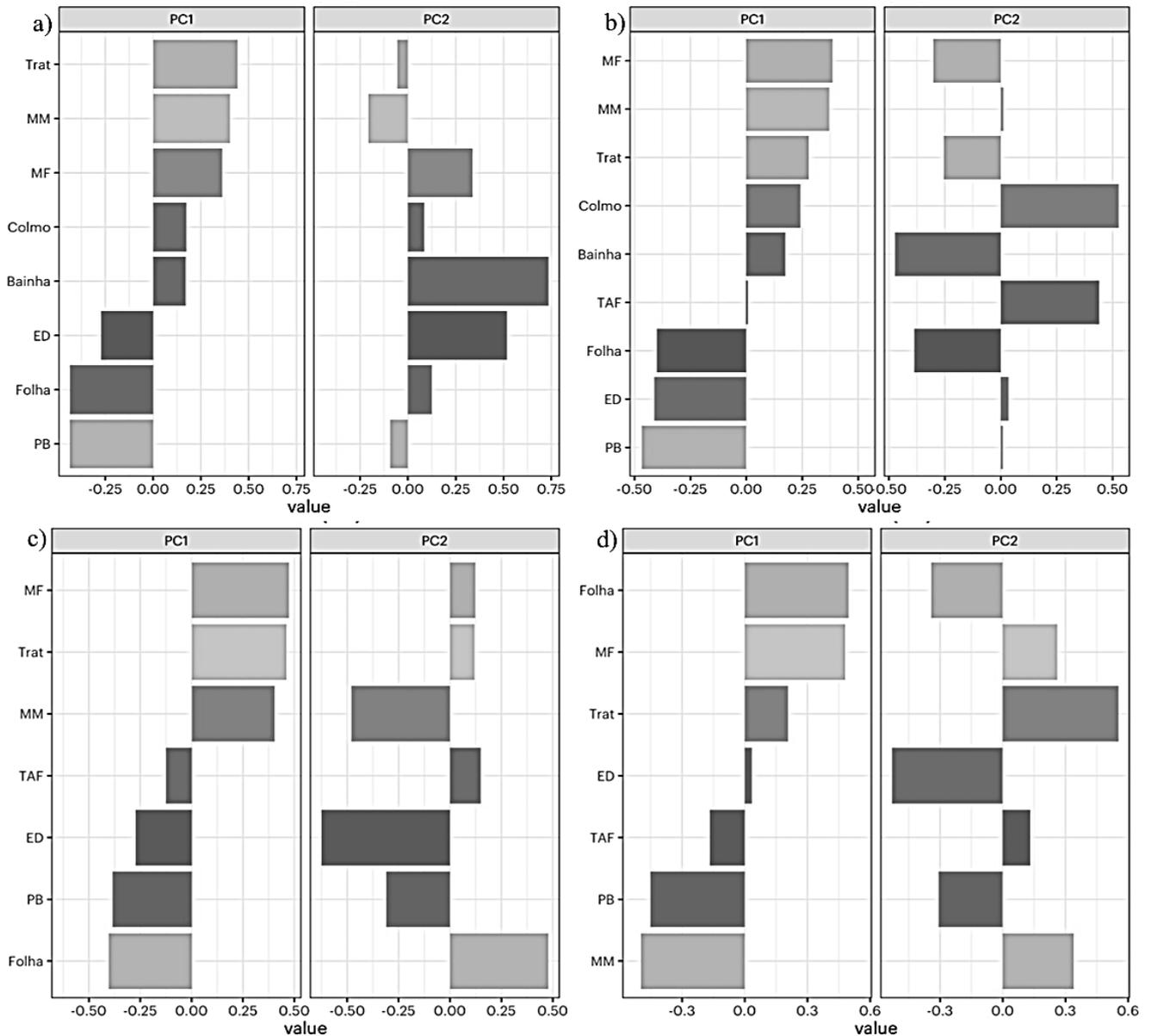
#### *Análises de componentes principais e regressões múltiplas*

A contribuição de cada uma das variáveis na variância dos componentes principais no experimento de diferimento de primavera a verão em gramíneas C3 (Figura 3a) demonstra uma relação positiva da porcentagem de folhas verdes e negativa com o tempo de duração do

diferimento (°C) com o nível de proteína bruta da forragem. A energia bruta mostrou um comportamento similar no PC1 e uma correlação positiva com o percentual de bainhas no PC2. Em gramíneas C4 (Figura 3b) ainda foi observada uma relação positiva da % de folhas, e negativa da duração do diferimento (°C), com o nível de proteína bruta da forragem. Contudo, a energia digestível apresentou um comportamento semelhante ao da proteína com PC1 e não houve correlações significativas no PC2.

No experimento de diferimento de outono a inverno (Figura 6 c), as relações das variáveis de gramíneas C<sub>3</sub> com o PC1 seguiram padrão semelhante ao observado nas gramíneas C<sub>3</sub> do experimento de primavera a verão. Contudo, no PC2 observou-se uma relação inversa entre a porcentagem de folhas verdes e a ED da forragem. Por outro lado, nesse mesmo período as variáveis relacionadas ao PC1 nas espécies C<sub>4</sub> tiveram um comportamento diferente do observado no diferimento de primavera a inverno (Figura 6 d), no qual a porcentagem de folhas verdes foi inversamente relacionada com a PB, enquanto a porcentagem de MM foi diretamente relacionada. No PC 2 observou-se uma relação positiva da porcentagem de folhas verdes e negativa com tempo de diferimento com a ED da forragem.

Figura 6 - Contribuição das variáveis estudadas na variância dos componentes principais (PC).



Variância dos dados: gramíneas C3: a) em experimentos de primavera a verão (PC1=55%; PC2=15%) e c) de outono a inverno (PC1= 56%; PC2=20%). gramíneas C4 nos experimentos de diferimento: b) de primavera a verão (PC1=40%; PC2= 24%) e d) de outono a inverno (PC1=40%; PC2= 30%); MF= massa de forragem; Trat= intervalos de diferimento (°C); MM= % de material morto; TAF= taxa de aparecimento foliar; ED= energia digestível; PB= proteína bruta; Folha= % de folhas.

Em geral, o melhor ajuste dos modelos de regressões múltiplas ocorreu quando as espécies foram agrupadas em espécies C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> de conservação e C<sub>4</sub> de captura, seguindo a lógica do agrupamento funcional proposto por Quadros *et al.*, (2006). No período de diferimento de primavera a verão, todas as equações de predição de PB apresentaram um R<sup>2</sup> do modelo acima de 0,7. A PB de gramíneas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> de captura foi relacionada de forma negativa com o tempo de duração do diferimento (°C) e com a massa de forragem (Tabela 3). Enquanto, as gramíneas C<sub>4</sub> de conservação também apresentaram relação negativa com a massa de forragem e positiva

com a porcentagem de folhas verdes. No período de outono a inverno, os modelos de PB se relacionaram de forma negativa com massa de forragem, no entanto em nenhum dos modelos o coeficiente chegou a 0,7.

Tabela 3 - Modelos de regressões múltiplas para estimativa do teor de proteína bruta (PB), energia digestível (ED) nos períodos de primavera a verão e outono a inverno em três grupos de gramíneas dominantes das pastagens naturais da América do Sul.

Variável	Grupo	RMSE	R <sup>2</sup> aj	N°	Modelo	
Primavera a verão						
PB	C3	1,44	0,79	45	PB(%)=22,4+(0,0028*°C)+(-0,0536*MF)	
	C4 Captura	1,42	0,75	43	PB(%)=12,4+(0,0012*°C)+(-0,0330*MF)	
	C4 Conservação	1,04	0,72	43	PB(%)=8,6+(-0,0382*MF)+(0,0563*% Folhas)	
	Outono a inverno					
	C3	1,4	0,60	42	PB(%)=22,2+(-0,256*MF)	
	C4 Captura	1,1	0,68	29	PB(%)=19,2+(-0,264*MF)	
C4 Conservação	1,4	0,52	29	PB(%)=19,4+(-0,173*MF)		
Primavera a verão						
ED	C3	78,3	0,50	45	ED=2866+(-0,184*°C)+(3,487*MF)	
	C4 Captura	96,1	0,63	41	ED=1998+(9,35*% Folhas)+(6,01*% Colmos)	
	C4 Conservação	103,3	0,47	46	ED=2761+(-0,153*°C)+(2,40*% Folhas)	
	Outono a inverno					
	C3	127,1	0,67	42	ED=3990+(-28,32*MF)+(-10,76*% Folhas)	
	C4 Captura				<i>Não significativo</i>	
C4 Conservação	178,9	0,36	29	ED=2516+(-6,147*% MM)		

RMSE = Raiz quadrada do erro-médio; N°= Número de amostras de cada variável que foram utilizadas no modelo; °C= tempo térmico em graus – dia; MF= massa de forragem; MM= material morto.

Os modelos de ED em ambos os períodos apresentaram um menor ajuste, com coeficientes R<sup>2</sup> inferiores a 0,7 (Figura 3). No período de primavera a verão a ED de gramíneas C3 relacionou-se negativamente com o tempo de diferimento (°C) e positivamente com a massa de forragem. Por outro lado, em gramíneas C4 de captura, a ED relacionou-se diretamente com as porcentagens de folhas e colmos, enquanto em espécies C4 de conservação a ED relacionou-se negativamente com tempo térmico e positivamente com a porcentagem de folhas verdes. Enquanto, no período de outono a inverno a MF foi a característica que impactou negativamente na ED e a porcentagem de folhas verdes de forma positiva. Em C4 de captura a equação não foi significativa (P>0,005). Em gramíneas C4 de conservação, o modelo apresentou que a porcentagem de material senescente se relacionou negativamente com a ED, no entanto com um R<sup>2</sup> de 0,36.

## DISCUSSÃO

### *Atributos foliares e características morfogênicas*

Os atributos foliares foram utilizados para agrupar as espécies conforme suas características foliares, com o propósito de simplificar as análises, assim como foi proposto por Quadros, Trindade e Borba (2009) confirmando que o teor de material seco é uma característica muito mais estável para comparar diferentes espécies. Os valores observados de teor de matéria seca no presente estudo foram próximos dos descritos por (CRUZ *et al.*, 2019), que enquadra *A. lateralis* e *M. selloana* como espécies C<sub>4</sub> do grupo funcional “C”, ou seja, de conservação, *P dilatatum* e *P notatum* nos grupos “A” e “B”, como capturadoras de recursos, e *B. auleticus* e *N. neesiana* nos grupos C e D de gramíneas C<sub>3</sub>. Os atributos foliares não se relacionaram com a PB e a ED, portanto nesse estudo os atributos foliares foram utilizados apenas como critérios para a formação dos grupos de gramíneas estudadas.

Nenhuma das características morfogênicas apresentou diferenças entre os tempos de diferimentos avaliados, em ambos os experimentos. No entanto foram observadas diferenças entre as espécies estudadas, onde a alta TAF em *M. selloana* pode estar relacionada a entrada no período reprodutivo quando ocorre o aparecimento mais rápido de novas folhas antes da emissão das inflorescências. Esse comportamento foi descrito por (SANTOS *et al.*, 2009) em perfilhos de braquiária submetidos a diferimentos. As TAF mais altas observadas nas duas espécies de *Paspalum* vão de encontro com Quadros, Trindade e Borba (2009) que descrevem como características de gramíneas de captura de recursos uma emissão mais frequente de novas folhas porém de menor comprimento.

O intervalo entre o aparecimento de uma folha e o início da senescência expressado com TVF é uma característica com potencial relação com o valor nutricional da forragem (KHALED *et al.*, 2006). Neste experimento a espécie com maior TVF foi *A. lateralis* o que indicaria uma menor perda de qualidade foliar com o incremento do tempo de diferimento, enquanto a menor TVF foi em *P. dilatatum*, portanto, essa espécie tende a apresentar redução no valor nutricional em diferimentos longos.

### *Produção de forragem e componentes estruturais*

Como esperado, em geral o aumento do período de diferimento tanto na primavera a verão quanto no outono a inverno possibilitou maiores acúmulos de forragem pelas gramíneas. Nos períodos de diferimento mais longos ( $\geq 1350$  °C) de primavera a verão as gramíneas C<sub>4</sub>

*Paspalum dilatatum*, *Andropogon lateralis* e *Mnesithea selloana* apresentaram maior acúmulo de forragem que as C<sub>3</sub> e a C<sub>4</sub> prostrada *Paspalum notatum*. Esta resposta ocorre porque gramíneas C<sub>4</sub> tem maior capacidade de acumular forragem que as C<sub>3</sub> com temperaturas acima dos 25 graus (EHLERINGER; CERLING; HELLIKER, 1997) como ocorreu no período de primavera a verão. Por outro lado, os resultados do experimento confirmaram que *Paspalum notatum* possui pouca capacidade de desenvolver-se verticalmente devido ao seu hábito de crescimento prostrado, e sua produção de forragem pode ter sido subestimada devido à altura de corte de 5cm, além disso, sua produção é muito reduzida em fotoperíodos decrescentes, como ocorreu no experimento de outono a inverno (SINCLAIR; MISLEVY; RAY, 2001; WALLAU *et al.*, 2019). A menor produção de forragem do diferimento no período de outono a inverno deve-se às menores temperaturas médias diárias e ao menor fotoperíodo, registrando uma diferença produtiva entre C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> muito menor que no período primavera a verão.

Quanto a composição estrutural da forragem acumulada, observou-se três diferentes padrões: i) gramíneas C<sub>3</sub> e *A. lateralis* mantiveram altas contribuições de folhas em ambos os experimentos avaliados; ii) *M. selloana* e *P. dilatatum*, apresentaram maiores contribuições de folhas no outono a inverno que em primavera a verão, e iii) *P. notatum* apresentou menores contribuições de folhas no outono a inverno que em primavera a verão (mais de 90% de material morto no período de inverno). A baixa contribuição de colmos de *A. lateralis*, diferente ao demonstrado em experimento a campo segundo ZANELLA *et al.* (2021), pode ser resultante da plasticidade fenotípica característica da espécie (SIMIONI *et al.*, 2022). *P. dilatatum*, *M. selloana* e *P. notatum*, entraram em período reprodutivo durante o diferimento de primavera a verão o que ocasionou as maiores contribuições de colmo no experimento 1. No entanto, a baixa temperatura e a redução do fotoperíodo durante o segundo experimento (outono a inverno) teve forte influência, principalmente na composição estrutural de *P. notatum* gerando uma grande proporção de material senescente (SINCLAIR *et al.*, 2004).

#### *Valor nutricional do pasto*

O prolongamento dos intervalos de diferimento resultou na redução do valor nutricional da forragem principalmente devido à variação na contribuição dos seus componentes estruturais, como previamente reportado por (LEMAIRE; BELANGER, 2019) À medida que aumenta o período de diferimento, ocorre espessamento da parede celular para manter a maior estrutura da planta, e conseqüentemente, uma redução da digestibilidade e dos teores de proteína bruta (LEMAIRE; BELANGER, 2019). Esse impacto foi marcante principalmente na

primavera a verão, que está relacionado ao acúmulo de colmos especialmente nas espécies C<sub>4</sub> (exceto em *A. lateralis*) ao longo dos períodos de diferimento.

O maior teor de PB da forragem ocorre nos estratos superiores das folhas verdes (NÚÑEZ *et al.*, 2022). Contudo, em espécies de gramíneas C<sub>4</sub> com alto acúmulo de forragem, o teor de PB pode ser inferior a 70 g.kg<sup>-1</sup>, o qual reduz a atividade dos microrganismos ruminais, e conseqüentemente limita a taxa de passagem e o consumo animal da forragem (DIXON *et al.*, 2022; MOORE *et al.*, 1999). Os requerimentos mínimos de PB na alimentação de bovinos de corte normalmente variam entre 70 e 110 g.kg<sup>-1</sup> (NRC, 2000). Novilhas em recria com ganho médio diário esperado de 0,3 kg día<sup>-1</sup> tem requerimentos de PB na dieta de 90 g.kg<sup>-1</sup> (NRC, 2000).

No experimento de primavera a verão esse valor foi atingido nas gramíneas C<sub>3</sub> independente do intervalo de diferimento utilizado, em *A. lateralis* manteve-se até o intervalo de 1350 °C e em *P. notatum* até 1800 °C, e nas demais espécies (*P. dilatatum* e *M. selloana*) apenas no tratamento 450 °C. Durante o diferimento de outono a inverno a PB não é nutriente limitante para a produção animal, no entanto, as limitações nutricionais podem ocorrer devido à baixa produção de forragem. Portanto, o período de diferimento das pastagens deve ser condicionado pelas espécies dominantes das comunidades de pastagens nativas, pelo acúmulo de biomassa combinado com os níveis necessários de requerimentos nutricionais dos ruminantes (FEDRIGO *et al.*, 2021).

A ED teve uma diluição similar a encontrada na concentração de PB com o acúmulo de forragem descrito por (LEMAIRE; BELANGER, 2019). A quantidade de energia consumida pelos animais apresenta uma alta relação com desempenho produtivo (BOVAL; EDOUARD; SAUVANT, 2014), o teor de ED presente na forragem é um fator importante para determinar o ganho de peso dos animais, assim como para estabelecer estratégias de alimentação do rebanho com base nos valores recomendados. Existem dois principais fatores que influenciam a redução da digestibilidade com o aumento da produção de forragem, que são o aumento de componentes de sustentação a medida e a planta cresce, e a maturação das paredes celulares em tecidos estruturais (LEMAIRE; BELANGER, 2019).

No presente estudo, a maior variação no teor de ED ocorreu durante o outono e inverno, no qual a contribuição de colmos foi muito baixa, portanto, o fator que provavelmente teve maior influência nessa variável foi a maturação das paredes celulares, e as altas contribuições de material senescente com o aumento dos períodos de diferimento. Além disso, este segundo experimento foi marcado por baixas temperaturas, com mínimas chegando a valores abaixo de zero. De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), temperaturas baixas, provocam a morte de plantas ou de parte delas devido ao congelamento dos tecidos vegetais, que também

pode ter influenciado na qualidade do pasto, e de acordo com os resultados observados nota-se que a ocorrência de geadas e do menor fotoperíodo tem uma influência maior sobre a ED do que sobre a PB.

De acordo com o NRC (2000) os valores mínimos de ED recomendados para animais em recria estão ao redor de 2600 kcal.kg<sup>-1</sup>. No experimento de diferimento de primavera a verão os valores mínimos em *B. auleticus* e *P. notatum* em todos os intervalos de diferimento foram superiores a 2600 kcal.kg<sup>-1</sup>, demonstrando que a ED não é um fator limitante no diferimento dessas espécies. No entanto, as demais espécies apresentaram limitações nos teores de ED em pelo menos um dos períodos de diferimentos avaliados.

Os diferimentos de outono a inverno ocasionam maiores limitações quanto a digestibilidade da forragem, no qual, as espécies C<sub>4</sub> *A. lateralis* e *P. notatum* apresentaram valores abaixo dos recomendados a partir do intervalo de diferimento mais curto (450 °C). As demais espécies C<sub>4</sub> também apresentaram valores mais baixos de ED nos dois intervalos mais longos (1800 e 2250 °C), demonstrando que principalmente em diferimentos de outono a inverno que o desempenho dos animais poderá ser limitado pela quantidade de ED disponível.

A relação ED: PB é um importante fator para determinar os intervalos de diferimento mais adequados para cada espécie de gramínea, e para determinar o momento em que é necessário o uso da suplementação para contornar as deficiências de nutrientes que podem ocorrer com o aumento da MF. Quando essa relação é maior que 35kcal.g<sup>-1</sup> (ou 8 quando considera-se o NDT ao invés da ED) a dieta é deficiente em PB tornando necessária a suplementação proteica (DIXON *et al.*, 2022; MOORE *et al.*, 1999).

Em diferimentos de primavera a verão observou-se três padrões da relação ED:PB: i) espécies C<sub>3</sub> apresentaram valores inferiores a 35 em independente da MF acumulada, demonstrando que essas espécies podem ser submetidas a longos períodos de diferimento sem que haja limitação no teor de PB; ii) em *P. notatum* e em *A. lateralis* a limitação ocorreu em intervalos acima de 1800 °C; iii) *P. dilatatum* e *M. selloana* apresentaram valores superiores ao limitante acima de 900 °C, não sendo recomendadas para uso em diferimentos longos.

Em casos em que sejam empregados períodos longos de diferimentos em comunidades com predominância de *P. dilatatum* ou *M. selloana*, haverá uma alta relação ED:PB na forragem ofertada, portanto será necessário o uso da suplementação proteica afim de contornar as deficiências de PB na dieta. Considerando a temperatura média observada no período de primavera a verão, espécies C<sub>3</sub> poderiam ser submetidas a até 100 dias de descanso, *P. notatum* e *A. lateralis* até 80 e as demais espécies, até 40 dias. Moore, Kunkle e Brown (1991) descrevem que forragens maduras apresentam uma baixa relação ED:PB porque tanto a ED quanto a PB são baixas.

Nos diferimentos de outono a inverno a relação ED:PB abaixo de 35 em todas as espécies independente do período utilizado foi resultante dos altos teores de PB e da baixa ED que ocorreram nesse período. Nesse caso, gramíneas C<sub>3</sub> podem ser diferidas por até 130 dias no período de outono a inverno sem limitações quanto a ED. Por outro lado, quando há predominância de espécies C<sub>4</sub> na comunidade vegetal, poderá ocorrer limitação quanto a quantidade de forragem produzida, ou quanto a quantidade de energia digestível da forragem. Dependendo do intervalo de diferimento utilizado haverá a necessidade de suplementação energética para contornar as limitações nutricionais do pasto.

#### *Análise de componentes principais e modelos de regressões múltiplas*

Os modelos selecionados demonstraram que os principais fatores relacionados ao teor de PB e ED são o tempo de diferimento relacionado com a massa de forragem produzida, e os componentes estruturais da forragem, o que tem relação direta com o comportamento descrito por Lemaire e Belanger (2019) que citam a diluição do valor nutricional com o aumento da produção de forragem. No experimento esperava-se maior influência das características morfológicas, no entanto, isso não aconteceu visto que não houve variação nessas características ao longo dos períodos de diferimento estudados.

Insua *et al.* (2019) desenvolveu um modelo de predição para festuca (*Lolium arundinaceum*) considerando os efeitos de variáveis morfológicas (TAF, DEF e TVF), além da idade e comprimento da folha que apresentou um forte ajuste para a estimativa da digestibilidade do pasto durante o período de rebrote, demonstrando que características foliares como idade e comprimento podem ser variáveis a serem consideradas na construção de modelos de predição do valor nutricional em outras espécies.

Em nossos experimentos, as análises evidenciam um melhor ajuste dos modelos no período de primavera a verão. Como demonstrado por Marin (não publicado), em geral a variação, principalmente na % de PB foi maior nesse período que no período de outono inverno. Por outro lado, a ED foi menos estável no período de outono a inverno, no entanto, pode ter sido mais influenciada pelos fatores ambientais como baixas temperaturas (Figura 1).

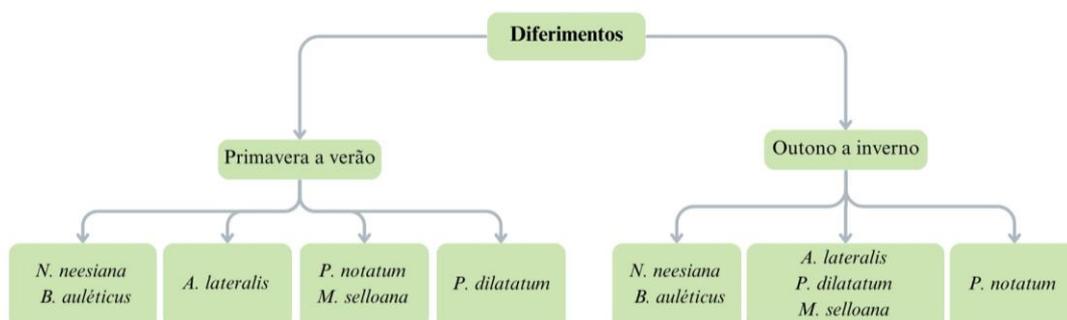
A redução no valor nutricional de lâminas foliares com o aumento da MF, e a velocidade em que essa redução ocorre depende da espécie, das condições ambientais e das mudanças no ritmo de crescimento das plantas (INSUA *et al.*, 2019). Desta forma, o tempo de diferimento, bem como a estrutura do pasto não são os únicos determinantes da variação dos teores de ED e PB devendo-se levar em conta os fatores aleatórios que interferem nos resultados que possivelmente tornariam os modelos de predição mais robustos.

Condições climáticas como temperatura, tempo diário de luz e ocorrências de geadas no período de inverno também podem ter influenciado no valor nutricional das gramíneas estudadas. Além disso, no período de outono a inverno não foram consideradas as temperaturas base de crescimento das espécies avaliadas, no cálculo de tempo de diferimento (em °C), que são em torno de 8,5°C para gramíneas C<sub>4</sub> e 4°C para gramíneas C<sub>3</sub> (LEMAIRE; BELANGER, 2019), isso explica porque o tratamento não foi selecionado nas equações de PB. Em alguns momentos no período de inverno a temperatura média diária foi muito próxima a temperatura base de crescimento das gramíneas, e ao não dispor da temperatura base, o crescimento invernal foi muito baixo em comparação com primavera verão.

O número de repetições em cada grupo impossibilitou o uso de um maior número de variáveis nas equações visto que se priorizou a inclusão de uma variável para cada 20 repetições. Em condições em que há um maior número de repetições dentro de um grupo amostral, seria possível a inclusão de mais variáveis, tornando o modelo mais bem ajustado. Além disso, para obter-se valores mais confiáveis da relação entre o valor nutricional e as características morfogênicas e estruturais, devem ser realizados estudos em uma grande variedade de condições de crescimento das plantas (INSUA; AGNUSDEI; DI MARCO, 2017).

O estudo possibilitou identificar semelhanças na dinâmica do valor nutricional das espécies estudadas, nas duas épocas do ano, no qual as espécies poderiam ser agrupadas em três grupos de acordo resposta do valor nutricional da forragem com o incremento do tempo térmico (Figura 7). Desta forma, as espécies pertencentes a cada grupo poderão ser submetidas a similares períodos de diferimento. Nesse sentido, a divisão das áreas dentro da propriedade com base na composição florística pode contribuir para a aplicação dessas estratégias ou realizar suplementação energética para superar a limitação nutricional.

Figura 7 - Agrupamento das espécies de acordo com características nutricionais semelhantes nos experimentos de diferimento de primavera a verão e outono a inverno.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desse estudo foi possível identificar e quantificar as características nutricionais de seis espécies nativas das pastagens naturais do ecossistema Campos da América do Sul sob diferentes períodos de diferimento. Nesse sentido os resultados observados representam um avanço em direção de uma pecuária mais sustentável e de precisão visto que foi possível identificar padrões de resposta no valor nutricional nas diferentes espécies estudadas e em duas épocas do ano em que podem ocorrer períodos críticos na produção de forragem e nutrição animal.

Pudemos observar como ocorre a dinâmica do valor nutricional das gramíneas estudadas com o uso de diferentes intervalos de diferimento. Foi possível identificar diferentes padrões na dinâmica do valor nutricional nas gramíneas estudadas nas diferentes épocas do ano em que os diferimentos foram empregados, no qual, em diferimentos de primavera a verão a maior variação ocorre nos teores de PB, principalmente nas gramíneas de ciclo estival *A.lateralis*, *M. selloana* e *P. dilatatum*, que atingiram valores considerados limitantes para a nutrição de ruminantes. Em diferimentos de outono a inverno ocorre deficiência energética em todas as espécies avaliadas, principalmente em gramíneas C<sub>4</sub> nas quais já em períodos curtos de diferimento registra-se uma limitação da energia digestível.

Os resultados obtidos neste estudo podem direcionar manejos de áreas de pastagens naturais com base nas espécies predominantes. Desta forma, sob condições em que não há limitações na disponibilidade de nutrientes e de umidade, em diferimentos de primavera a verão áreas com predominância de espécies de ciclo hibernal (*N. neesiana* e *B. auléticus*) poderiam ser submetidas a diferimentos de até 2250 °C (98 dias), *A. lateralis* até 1800 °C (78 dias), *P. notatum* e *M. selloana* 1350 °C (58 dias), e *P dilatatum* 900 °C (38 dias).

Em deferimentos de outono a inverno, quando *N. neesiana* *B. auléticus* são predominantes, poderiam ser utilizados a intervalos entre 1350 e 1800 °C (98 a 125 dias), áreas com predominância de *A. lateralis*, *P. dilatatum* ou *M. selloana* poderiam ser diferidas até 900 °C (67 dias). Quando há predominância de *P. notatum* a área deve ser manejada sob lotação intermitente, já que esta espécie não apresentou potencial para uso em diferimentos de outono a inverno.

Por outro lado, quando intervalos mais longos são utilizados em diferimentos de primavera a verão, a ponto de resultar em limitações quanto ao teor de proteína do pasto, uma suplementação proteica poderá ser utilizada a fim de contornar essas limitações. Nesse mesmo sentido, em diferimentos de outono a inverno, a suplementação energética pode ser incluída na

dieta dos animais a fim de contornar as limitações de energia disponível no pasto em diferimentos mais longos.

Outra importante contribuição deste trabalho, foi demonstrar que os teores de energia digestível, proteína bruta, são determinados principalmente pela massa de forragem, que foi consequência principalmente dos intervalos de diferimento utilizados e da composição estrutural da forragem. No entanto, intervalos de diferimento foram calculados baseados na temperatura média acima de zero °C, desta forma não consideramos as temperaturas base de crescimento das espécies estudadas, o que pode ter influenciado nas características morfológicas e nas correlações dessas características com o valor nutricional.

A estimativa da contribuição dos componentes estruturais do pasto é de certa forma subjetiva quando não realizada a separação manual dos componentes de forragem, portanto, para tornar os as regressões que consideram esses fatores na estimativa do valor nutricional da forragem mais precisas seria interessante adicionar modelos de predição dos componentes estruturais com base no tempo de diferimento aos modelos já existentes. Estes avanços na pesquisa em gramíneas nativas possibilitariam a construção de modelos mais ajustados e mais robustos que poderão futuramente auxiliar na toma de decisões de escolher os tipos de comunidades de campo nativo e o tempo de diferimento a aplicar.

O presente estudo representa um pequeno passo na direção de pesquisas sobre a dinâmica do valor nutricional em pastagens naturais, considerando a diversidade de ambientes que compõem os “Pastizales del Río de la Plata”, apenas um estudo ainda é pouco abrangente, visto que as espécies estudadas são representativas das áreas de arenito e basalto do norte Uruguaio.

Experimentos futuros poderiam avaliar a interação do período de diferimento em diferentes comunidades vegetais, e condições de fertilidade do solo e disponibilidade hídrica, tornando os resultados mais abrangentes as diversas formações campestres. Ademais, deveriam ser exploradas características nutricionais como teores de fibra em detergente neutro e ácido, taxa de degradação da forragem e frações degradáveis e não degradáveis da proteína bruta.

Por fim, acredito que a construção dessa tese possibilitou reafirmar a complexidade e as possibilidades em manejar áreas de pastagens naturais. Além disso, demonstra a necessidade do desenvolvimento contínuo de ferramentas que auxiliem produtores e pesquisadores na busca da intensificação da produção pecuária em áreas de pastagens naturais de forma sustentável, unindo aumento da produtividade e preservação destas áreas que possuem um imenso valor, econômico, social e ambiental.

## REFERÊNCIAS

- AGNUSDEI, M. G. *et al.* Leaf blade nutritional quality of rhodes grass (*Chloris gayana*) as affected by leaf age and length. **Crop & Pasture Science**, v. 62, p. 1099-1105, 2012.  
Disponível em:  
[https://www.researchgate.net/publication/263004226\\_Leaf\\_blade\\_nutritional\\_quality\\_of\\_rhodes\\_grass\\_Chloris\\_gayana\\_as\\_affected\\_by\\_leaf\\_age\\_and\\_length](https://www.researchgate.net/publication/263004226_Leaf_blade_nutritional_quality_of_rhodes_grass_Chloris_gayana_as_affected_by_leaf_age_and_length). Acesso em: 21 jun. 2021.
- ALLEN, Vivien G. *et al.* An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, 2011. v. 66, n. 1, p. 2–28. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>. Acesso em: 22 ago. 2021.
- AL HAJ KHALED Raouda, *et al.* Using Leaf Traits to Rank Native Grasses According to Their Nutritive Value. **Rangeland Ecology & Management**. 2006. v 59,p 648-654.  
Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550742406500727>.  
Acesso em: 13 jun. 2021.
- ANDRADE, Bianca Ott. *et al.* Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2018. v. 188, n. 3, p. 250–256. Disponível em: <https://academic.oup.com/botlinnean/article-abstract/188/3/250/5125667>.  
Acesso em: 12 jul. 2021.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Maryland, USA: **AOAC International**, 2005.
- AZAMBUJA FILHO, J. C. R. DE. Dinâmica vegetacional de campo nativo com históricos de manejo contrastantes, submetido a diferimento. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, 2013.
- AZAMBUJA FILHO, Júlio Cezar Rebés. Dinâmica vegetacional de campo nativo diferido. III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal, 3. 2013, Pirassununga/SP. **Anais...**, Pirassununga/SP 2013. Acesso em: 05 abr. 2020.
- BALDI, G.; PARUELO, J. M. Land-use and land cover dynamics in South American Temperate grasslands. **Ecology and Society**, v. 13, n. 2, 2008. Disponível em:  
<https://www.jstor.org/stable/26267957>. Acesso em: 14 mai. 2021.
- BAUER, Maristela de Oliveira *et al.* Características anatômicas e valor nutritivo de quatro gramíneas predominantes em pastagem natural de Viçosa, MG. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 9–17, 2015. Disponível:  
<https://www.scielo.br/j/rbz/a/wHd8LD9MJ67HnTtywgZhpSg/>. Acesso em: 07 mai. 2021.
- BEMHAJA, María, ANTUNEZ, Juan. Estacion meteorologica glencoe: lluvia, evaporacion y temperaturas maximas y minimas promedio: 1999-2000. **Jornada U.E. "Glencoe"**, 2000. INIA Tacuarembó. Disponível em:  
<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9119/1/SAD-239p11-12.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- BERRETTA, Elbio. J. *et al.* Campos in Uruguay. In: LEMAIRE, G. *et al.* **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Wallingford, UK: CAB International 2000, cap. 19, p. 377–394.

- BERRETTA, Elbio. J. Producción de pasturas naturales en el Basalto: características de las principales especies de estos suelos. In: CARÁMBULA, M.; VAZ MARTINS, D.; INDARTE, E. (Eds.). **Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva**. INIA ed. Montevideo, UY: [s.n.]. p. 24–26.
- BIDEGAIN, Mario *et al.* Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. In: **Variabilidad climática de importancia para el sector productivo**. Montevideo Vol I. 2012. Disponible em: <http://www.fao.org/climatechange/84982/es>. cesso em: 21 jul. 2021.
- BOGGIANO, P.; ZANONIANI, R. A.; SALDANHA, S. Implantación de *Bromus auleticus* Trinius en cobertura. IICAPROCISUR. **Anais...Montevideo** (Uruguay): 2001.
- BOLDRINI, Ilsi Job. A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. DE P. *et al.* **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2009. cap 4, p. 63–79.
- BOVAL, Maryline; EDOUARD, Nadège; SAUVANT, Daniel. A meta-analysis of nutrient intake, feed efficiency and performance in cattle grazing on tropical grasslands. **Animal**, 2014. v. 9, n. 6, p. 973–982. Disponible em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731114003279>. Acesso em: 13 dez. 2022.
- BREMM, Carolina.; ROSA, Fabiane. Quevedo.; MACHADO, Debora. Rubim. Desempenho animal em campo nativo. In: CARVALHO, P. C. DE F. *et al.* (Eds.). **Nativão + de 30 anos de pesquisa em campo nativo**. Porto Alegre, RS: Viapampa, 2019. p. 36–38.
- BURKART, A. Evolution of Grasses and Grasslands in South America. **Taxon**, v. 24, n. 1, p. 53–66, 1975. Disponible em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2307/1219001>. Acesso em: 30 mai. 2021.
- BUXTON, D. R.; MERTENS, D. R.; MOORE, K. J. Forage Quality for Ruminants: Plant and Animal Considerations. **Professional Animal Scientist**, v. 11, n. 3, p. 121–131, 1995. Disponible em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1080744615325754>. Acesso em: 23 set. 2022.
- CALOIN, YU, O.; M. Analysis of the Time Course of Change in Nitrogen Content in *Dactylis glomerata* L. Using a Model of Plant Growth. **Annals of Botany Company**, v. 54, p. 69–76, 1984. Disponible em: <https://www.jstor.org/stable/42756979>. Acesso em: 25 mai. 2020.
- CALVACHE, Iván. *et al.* Thermal time as a parameter to determine optimal defoliation frequency of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and pasture brome (*Bromus valdivianus* Phil.). **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 1–13, 2020. Disponible em: [https://www.mdpi.com/2073-4395/10/5/620/review\\_report](https://www.mdpi.com/2073-4395/10/5/620/review_report). Acesso em: 18 jun. 2020.
- CARÁMBULA, Milton. *et al.* Campo Natural: variables básicas que permiten fijar pautas para su manejo. Jornada anual de producción animal. **INIA Serie Actividades de Difusión** 136, p. 5–13, 1997.
- CARRÈRE, P.; LOUAULT, F.; SOUSSANA, J.F. Tissue turnover within grass-clover mixed swards grazed by sheep. Methodology for calculating growth, senescence and intake fluxes. **Journal of Applied Ecology**, v.34, p.333-348, 1997. Disponible em: <https://www.jstor.org/stable/2404880>. Acesso em: 25 set. 2021.

CARVALHO, Paulo Cesar de Faccio; BATELLO, Caterina. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, 2009. v. 120, n. 1–2, p. 158–162. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2008.04.012>. Acesso em: 14 jun. 2021.

CASTILHOS, Zelia Maria de Souza.; MACHADO, Mirela Dias; PINTO, Marcelo Fett. Produção animal com conservação da flora campestre do bioma Pampa. In: PILLAR, V. D. P. *et al.* (Eds.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: MMA, 2009. p. 199–206.

CHAPMAN, D. F.; LEE, J. M.; WAGHORN, G. C. Interaction between plant physiology and pasture feeding value: A review. **Crop and Pasture Science**, v. 65, n. 8, p. 721–734, 2014. Disponível em: <https://bioone.org/journals/Crop-and-Pasture-Science/volume-65/issue-8/CP13379/Interaction-between-plant-physiology-and-pasture-feeding-value--a/10.1071/CP13379.short>. Acesso: 05 jun. 2021.

CHACON, E.; STOBBS, T. H.; SANDLAND, R. L. Estimation of herbage consumption by grazing cattle using measurements of eating behaviour. **Grass and Forage Science**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 81–87, 1976. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2494.1976.tb01122.x>. Acesso em: 20 out. 2022.

COATES, D. B.; DIXON, Robert. M. Faecal near infrared reflectance spectroscopy estimates of diet quality and responses to nitrogen supplements by cattle grazing *Bothriochloa pertusa* pastures. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 2008. p. 829–834. Disponível em: [publish.csiro.au/an/EA08004](http://publish.csiro.au/an/EA08004). Acesso em: 17 nov. 2022.

CORBETT, J. L. STUDIES ON THE EXTENSION OF THE GRAZING SEASON: 2. Pasture Management for Foggage Production. **Grass and Forage Science**, v. 12, n. 3, p. 187–196, 1957.

COSTA, J.L.B. **Estratégias de diferimento na produção primária e secundária da pastagem natural**. 2015,50f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

CRUZ, Gabriela. *et al.* Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v 18, n1,p. 126–132, 2014. Disponível em: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482014000100013&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482014000100013&script=sci_abstract&tlng=es). Acesso em: 13 set. 2021.

CRUZ, Pablo. *et al.* A functional classification of 63 common poaceae in the “campos” grasslands of South America. **Ecologia Austral**, v. 29, n. 2, p. 239–248, 2019. Disponível em: [https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia\\_Austral/article/view/727](https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/727). 21 jul. 2021.

CRUZ, Pablo. *et al.* Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the South of Brazil. **Rangeland Ecology and Management**, v. 63, n. 3, p. 350–358, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742410500289>. Acesso em: 16 jun. 2020.

- CURTIS, L.E.; KALLENBACH, R.L. Endophyte infection level of tall fescue stockpiled for winter grazing does not alter the gain of calves nursing lactating beef cows. **J. Anim. Sci.** V. 85, p. 2346–2353. 2007. Disponível em: <https://academic.oup.com/jas/article-abstract/85/9/2346/4778540>. Acesso em: 18 jun. 2021.
- DIXON, R. M. *et al.* Diet quality, liveweight change and responses to N supplements by cattle grazing *Astrelba* spp. (Mitchell grass) pastures in the semi-arid tropics in north-western Queensland, Australia. **Rangeland Journal**, 2022. v. 44, n. 2, p. 97–113. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/rj/RJ21056>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- DIXON, R. M.; COATES, D. B. Diet quality estimated with faecal near infrared reflectance spectroscopy and responses to N supplementation by cattle grazing buffel grass pastures. **Animal Feed Science and Technology**, 2010. v. 158, n. 3–4, p. 115–125. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.04.002>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- EHLERINGER, James R.; CERLING, Thure E.; HELLIKER, Brent R. C4 photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. **Oecologia**, 1997. v. 112, p. 285–299. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s004420050311>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- FEDRIGO, Jean. K. *et al.* Temporary grazing exclusion promotes rapid recovery of species richness and productivity in a long-term overgrazed Campos grassland. **Restoration Ecology**, v. 26, n. 4, p. 677–685, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/rec.12635>. Acesso em: 22 jun. 2020.
- GARAGORRY, F. C. **Construção de uma tipologia funcional de gramíneas em pastagens naturais sob diferentes manejos**. 2008. 176 p. Dissertação (Mestrado Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- GAUJOUR, Etienne. *et al.* Factors and processes affecting plant biodiversity in permanent grasslands. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 133–160, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-011-0015-3>. Acesso em: 24 abr. 2021.
- GIORELLO, D. G.; SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Herbage accumulation, morphological composition, and nutritive value of *Paspalum notatum* CV. INIA Sepé. **Agrociencia Uruguay**, v. 25, n. 1, 2021. Disponível em: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agr/v25n1/2730-5066-agr-25-01-e348.pdf>. Acesso em: 14 out. 2022.
- GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A.; PACIULLO, D. S. C. Morfogênese como ferramenta para o manejo de pastagens. **Rev. Bras. Zootec.**, v.35, p.554-579, 2006.CD-ROM.
- HASENACK, H.; WEBER, E. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul**: Escala 1:50.000. v. 1, p. 21, 2010. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads/dados-geoespaciais/base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-150-000/>. Acesso: 14 jul. 2022.
- GUIDO, Anaclara. *et al.* Spatial and temporal variability in aboveground net primary production of uruguayan grasslands. **Rangeland Ecology and Management**, 2014. v. 67, n. 1, p. 30–38. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742414500024>. Acesso em: 21 jul. 2021.

HUGHES, G. P. The production and utilization of winter grass. **The Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 2, p. 179–201, 1954.

INSUA, Juan Ramón. *et al.* Modeling the nutritive value of defoliated tall fescue pastures based on leaf morphogenesis. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 2, p. 714–724, 2019. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2018.07.0439>. Acesso em: 17 fev. 2020.

INSUA, Juan Ramón *et al.* Morphological, environmental and management factors affecting nutritive value of tall fescue (*Lolium arundinaceum*). **Crop and Pasture Science**, v. 69, n. 11, p. 1165–1172, 2018. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/cp/CP18182>. Acesso em: 25 mar. 2020.

INSUA, Juan Ramón; AGNUSDEI, M. G.; DI MARCO, O. N. Leaf morphogenesis influences nutritive-value dynamics of tall fescue (*Lolium arundinaceum*) cultivars of different leaf softness. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 1, p. 51–61, 2017. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/CP/CP16254>. Acesso em: 10 abr. 2020.

JAURENA, Martín *et al.* Campo natural: patrimonio del país y fundamento de la estabilidad productiva de la ganadería. **Revista INIA Uruguay**, v.32, p.30-35, 2013. Disponível em: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7041/1/revista-INIA-32-p.31-35.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2020.

JAURENA, Martín *et al.* La Regla Verde: una herramienta para el manejo del campo natural. **Revista INIA Uruguay**, p4-27. 2018. Disponível em: [http://inia.uy/Documentos/P%C3%BABlicos/INIA%20Salto%20Grande/2018/2018.09.25-Gira\\_INIA\\_Norte/Articulo\\_La\\_Regla\\_Verde.pdf](http://inia.uy/Documentos/P%C3%BABlicos/INIA%20Salto%20Grande/2018/2018.09.25-Gira_INIA_Norte/Articulo_La_Regla_Verde.pdf). Acesso em: 14 ago. 2019.

JAURENA, Martín *et al.* Native Grasslands at the Core: A New Paradigm of Intensification for the Campos of Southern South America to Increase Economic and Environmental Sustainability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.5, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.547834>. Acesso em: 21 jul. 2021.

JAURENA, Martín *et al.* Recuperación de áreas degradadas de campos naturales de basalto superficial. **INIA Serie Técnica**, v. 35, p. 21–25, 2012. Disponível em: [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/20\\_pasturas\\_de\\_basalto.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/20_pasturas_de_basalto.pdf). Acesso em: 15 mar. 2021.

KOZLOSKI, G. V. *et al.* Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. **The Journal of Agricultural Science**, 18 ago. 2018. v. 156, n. 6, p. 855–855. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0021859618000941/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0021859618000941/type/journal_article). Acesso em: 14 nov. 2022.

LAUENROTH, W.K.; SALA, O.E. Long-term forage production of North American shortgrass steppe. **Ecol. Appl.** v.2, p. 397–403.1992. DOI: 10.2307/1941874. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27759270/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

LEMAIRE, Gilles *et al.* Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: A review. **Grass and Forage Science**, v. 64, n. 4, p. 341–353, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2494.2009.00707.x>. Acesso em: 19 abr. 2021.

LEMAIRE, Gilles *et al.* Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? **Field Crops Research**, v. 100, p. 91–106, 2007. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429006001390>. Acesso em: 12 mar. 2022.

LEMAIRE, Gilles. AGNUSDEI, M. Leaf Tissue Turnover and Efficiency of Herbage Utilization. In: LEMAIER, G. *et al.* (Eds.). . **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Wallingford, UK: CAB International, 2000, cap. 14, p. 265–287.

LEMAIRE, Gilles.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (Eds.). **The Ecology and Management of Grazing System**. Wallingford, UK: CAB International, 1996, cap. 1, p. 3–36.

LEMAIRE, Gilles; BELANGER, Gilles. Allometries in Plants as Drivers of Forage Nutritive Value : A Review. **Agriculture**, v. 10, p. 1–18, 2020. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/2077-0472/10/1/5>. Acesso em: 12 ago. 2020.

LEZAMA, Felipe *et al.* Grasslands of Uruguay: Classification based on vegetation plots.

**Phytocoenologia**, v. 49, n. 3, p. 211–229, 2019. Disponível em:

[https://www.schweizerbart.de/papers/phyto/detail/prepub/90497/Grasslands\\_of\\_Uruguay\\_classification\\_based\\_on\\_vegetation\\_plots](https://www.schweizerbart.de/papers/phyto/detail/prepub/90497/Grasslands_of_Uruguay_classification_based_on_vegetation_plots). 17 ago. 2019.

MAPLOGS. **Salida y Puesta del sol Tiempo de búsqueda**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em:

<https://sunrise.maplogs.com/es/>. Acesso em: 9 set. 2022.

MEZZALIRA, Jean Carlos. *et al.* Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. **Ciência Rural**, v.42, n.7, p.1264-1270, 2012.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/sKLCXpbC6KlK8BqfWz39sQJ/>. Acesso em: 14 dez. 2019.

MILLOT, J. C.; RISSO, D. .; METHOL, R. **Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo (Uruguay):**

[s.n.], 1987. Disponível em:

<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13475/1/SEMINARIO-CAMPO-NATURAL-1-1985.p.16-millot.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

MODERNEL, Pablo. *et al.* Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. **Environmental Research Letters**, v. 11, n.

11, p. 1–22, 2016. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/11/113002/meta>. 25 jul. 2020.

MOORE, John E. *et al.* Effects of Supplementation on Voluntary Forage Intake, Diet

Digestibility, and Animal. **Journal of Animal Science**.1999. p. 122–135. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15526787/>. Acesso em: 16 out. 2022.

MOORE, John E.; KUNKLE, Willian E.; BROWN, Willian F. Forage quality and the need for protein and energy supplements. **Florida Beef Cattle ...**, 1991. Disponível em:

[https://animal.ifas.ufl.edu/beef\\_extension/bcsc/1991/pdf/moore.pdf](https://animal.ifas.ufl.edu/beef_extension/bcsc/1991/pdf/moore.pdf). Acesso em: 14 out. 2022.

MORRIS, H. D.; GARDNER, F. P. The Effect of Nitrogen Fertilization and Duration of

Clipping Period on Forage and Grain Yields of Oats, Wheat, and Rye 1 . **Agronomy Journal**, v. 50, n. 8, p. 454–457, 1958.

NABINGER, Carlos; DALL'AGNOL, Miguel **Guia para Reconhecimento de Espécies dos Campos Sulinos**. Brasília, DF: IBAMA, 2019, 2019.

NABINGER, Carlos. Aspectos ecofisiológicos do manejo de pastagens e utilização de modelos como ferramenta de diagnóstico e indicação de necessidades de pesquisa. In: Reunião Do Grupo Técnico Regional Do Cone Sul (Zona Campos) Em Melhoramentos E Utilização De Recursos Forrageiros Das Áreas Tropical E Subtropical. Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1996. p.17-62. Disponível em: [https://conevajr.ufsc.br/files/2015/03/Aspectosecofisiol\\_gicosnomanejodepastagens\\_Nabinger1.pdf](https://conevajr.ufsc.br/files/2015/03/Aspectosecofisiol_gicosnomanejodepastagens_Nabinger1.pdf). 29 set. 2022

NABINGER, Carlos. Eficiência Do Uso De Pastagens: (A. M. PEIXOTO, J. C. MOURA, V. P. FARIA, Eds.). Fundamentos do pastoreio rotacionado. **Anais...**Piracicaba/SP: FEALQ: Piracicaba, 1997. P. 213-251.

NABINGER, Carlos. *et al.* 2009. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa In: PILLAR, V. D. P. *et al* (Ed.). **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. Cap. 13. p. 175-198.

NABINGER, Carlos. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtropico brasileiro. In: Dall'Agnol, M. *et al.* Simpósio de Forrageiras e Pastagens, 1, 2006, Porto Alegre, **Anais...** Canoas: Ulbra, p.25-76,2006.

NELSON, C. J. Shoot Morphological Plasticity of Grasses: Leaf Growth vs Tillering. In: LEMAIRE, G. *et al.* **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. CAB International 2000, 2000. cap. 6, p. 101–126.

NEVES, F. P. *et al.* Caracterização da estrutura da vegetação numa pastagem natural do Bioma Pampa submetida a diferentes estratégias de manejo da oferta de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1685–1694, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/s7ZQ8t6J7PLLxWccnNGJvTk/?lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2019.

NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. Seventh Revised Edition: Update 2000. [S.l.]: [s.n.], 2000.

NÚÑEZ, L. *et al.* What Factors Control the Crude Protein Content Variation of a Basaltic “Campos” Native Grassland of South America? *Agronomy*, v. 12, n. 8, p. 1–12, 2022. ~

OLMOS, Fernando; CARDOZO, Gerónimo; SOSA, Martín. Producción forrajera con canutillo: *Andropogon lateralis*, en suelos arenosos. In: OLMOS, F. *et al.* (Eds.). **Productividad de pasturas estivales en la región Noreste**. Montevideo, UY: INIA, 2015. p. 65–73. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/287210041\\_Produccion\\_forrajera\\_con\\_canutillo\\_Andropogon\\_lateralis\\_en\\_suelos\\_arenosos](https://www.researchgate.net/publication/287210041_Produccion_forrajera_con_canutillo_Andropogon_lateralis_en_suelos_arenosos). Acesso em: 15 out. 2022.

OVERBECK, Gerhard E. *et al.* Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. Perspectives in **Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 2007. v. 9, n. 2, p. 101–116. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1433831907000303>. Acesso em: 16 mai. 2021.

PARSONS, A. J.; JOHNSON, I. R.; WILLIAM, J. H. H. Leaf age structure and canopy photosynthesis in rotationally and continuously grazed swards. **Grass and Forage Science**, v. 43, p. 1–14, 1988. Disponível em : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2494.1988.tb02136.x>. 20 jun. 2022.

PEREIRA, Antonio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto.; SENTELHAS, Paulo Cesar **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agripecuária, 2002. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-sao-carlos/climatologia/pereira-et-al-2002-agrometeorologia-fundamentos-e-aplicacoes-praticas-ocr/37725271>. Acesso em: 22 out 2022.

PILLAR, Valério de Patta; ANDRADE, Bianca Ott; DADALT, Leticia. Serviços Ecosistêmicos. In: PILLAR, Valério de Patta; LANGE, Omara. (Eds.). **Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 115–122.

QUADROS, Fernando Luiz Ferreira *et al.* Uso de tipos funcionais de gramíneas como alternativa de diagnóstico da dinâmica e do manejo de campos naturais. **43a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Anais...João Pessoa, PB: 2006.

QUADROS, Fernando Luiz Ferreira *et al.* Utilizando a racionalidade de atributos morfogênicos para o pastoreio rotativo: experiência de manejo agroecológico em pastagens naturais do Bioma. **Cadernos de Agroecologia/ Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 9, 2011. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/12716/7020>. 15 jun. 2020.

QUADROS, Fernando Luiz Ferreira; TRINDADE, José Pedro Pereira; BORBA, Marcos. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. In: PILLAR, V. DE P. *et al.* **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2009. p. 206–227.

RODRIGUES, Geraldo José. **Diferimento e adubação como estratégias de manejo de pastagem nativa**. 2014, 130f Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.2014.

SINCLAIR, Thomas R. *et al.* Photosynthetic photon flux density influences grass responses to extended photoperiod. **Environmental and Experimental Botany**, 2004. v. 51, n. 1, p. 69–74. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847203000613>. Acesso em: 04 mai. 2021.

SINCLAIR, Thomas R.; MISLEVY, Paul; RAY, Jeffery D. Short photoperiod inhibits winter growth of subtropical grasses. **Planta**, 2001. v. 213, n. 3, p. 488–491. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11506374/>. Acesso em: 24 out. 2022.

SANTOS, Aline Bosak. *et al.* Morfogênese de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul (Brasil) submetidas a pastoreio rotativo durante primavera e verão. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p. 97–103, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/thFDNHFGjTLRTRhYxBSVWJf/?lang=pt>. 17 abr. 2022.

SANTOS, Aline Bosak. *et al.* Valor nutritivo de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul/Brasil, classificadas segundo uma tipologia funcional, sob queima e pastejo. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 2, p. 342–347, 2013. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/3Bf8wB3St4YV7jkYyd8q9dk/abstract/?lang=pthttps://www.scielo.br/j/cr/a/3Bf8wB3St4YV7jkYyd8q9dk/abstract/?lang=pt>. 15 jun. 2019.

SANTOS, Aline Bosak. **Morfogênese de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul (Brasil) submetidas a pastoreio rotativo**. 2012. 84p. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

SBRISSIA, André Fischer; SILVA, Sila Carneiro da; JÚNIOR, Domicio do Nascimento. Ecofisiologia de plantas forrageiras e o manejo do pastejo. **Simpósio sobre Manejo da Pastagem**, n. 24, p. 3–5, 2007. Disponível em:

<https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/zootecnia/anaclaudiaruggieri/2.-ecofisiologiaplantasforrageirasmanejopastejo.pdf>. 02 ago. 2021.

SCHEFFER-BASSO, S. M. et al. Selection of *Bromus auleticus* populations: a winter perennial grass [Seleção de populações de *Bromus auleticus*, uma gramínea perene de inverno]. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2, p. 249–255, 2009.

SILVA, Jonatas Cezar da. **Compreendendo os fluxos de biomassa de *Andropogon lateralis* e *Paspalum notatum* em um campo nativo heterogêneo**. 2018. 113 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SOARES, André Bruganara. *et al.* Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n.5, p. 1148-1154, 2005. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/SYLrKDBD9bHbQWPZqrWgLRb/?lang=pt>.

SOLLENBERGER, Lynn E. *et al.* Prescribed Grazing on Pasturelands. In: NELSON C. J. **Conservation outcomes from pastureland and hayland practices: Assessment, recommendations and knowledge gaps**. Lawrence, KS. Allen Press, 2012. cap. 3.

Disponível em:

[https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1039&context=bae\\_facpub](https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1039&context=bae_facpub). 13 nov. 2019.

SUERTEGARAY, Dirce. M. A.; SILVA, Luís Alberto Pires. Tchê Pampa: histórias da natureza gaúcha. In: PILLAR, V. D. P. *et al.* (Ed.). **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. cap.3, p. 42-62.

TÖRÖK, P. *et al.* The present and future of grassland restoration. **Restoration Ecology**, [s. l.], v. 29, n. S1, p. 1–6, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/journal/agricultural-and-forest-meteorology>. Acesso em: 14 fev. 2023.

WAECHTER, J. L. Padrões geográficos na flora atual do Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**, v. 24, n. 24, p. 93–108, 2002.

WAGNER, Ana Paula Luz *et al.* Vegetation indices variability in the Pampa grasslands in Brazil and Uruguay. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, 2018. v. 2, p. 83–92. Disponível em:

<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26364>. Acesso em: 23 abr. 2021.

WALLAU, Marcelo. *et al.* Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flueggé): **Overview and Pasture Management**. Edis, 2019. v. 2019, n. 4, p. 10. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AG342>. Acesso em: 14 nov. 2021.

WILES, Peter G.; GRAY, Ian K.; KISSLING, Roger C. Routine Analysis of Proteins by Kjeldahl and Dumas Methods: Review and Interlaboratory Study Using Dairy Products. *Journal of AOAC International*, [s. l.], v. 81, n. 3, p. 620–632, 1998. Disponível em: <https://academic.oup.com/jaoac/article/81/3/620/5684004?login=false>. Acesso em: 07 abr. 2021.

ZANELLA, Pablo Giliard *et al.* Grazing intensity drives plant diversity but does not affect forage production in a natural grassland dominated by the tussock-forming grass *Andropogon lateralis* Nees. **Scientific Reports**, 2021. v. 11, n. 1, p. 1–12. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96208-8>. Acesso em: 27 mai. 2022.

## ANEXOS

## Manuscrito 1

**EFEITO DA DURAÇÃO E ÉPOCA DE DIFERIMENTO NA PRODUÇÃO DE  
FORRAGEM E VALOR NUTRICIONAL DE SEIS ESPÉCIES DE GRAMÍNEAS  
NATIVAS DA AMÉRICA DO SUL**

**EFFECT OF STOCKPILING DURATION AND TIME ON FORAGE PRODUCTION  
AND NUTRITIONAL VALUE OF SIX NATIVE GRASS SPECIES OF SOUTH  
AMERICA**

**RESUMO**

Esse estudo teve como principal objetivo avaliar a dinâmica de produção de forragem e valor nutricional de seis espécies de gramíneas nativas das pastagens naturais da América do Sul manejadas sob diferentes intervalos de diferimento, das quais quatro espécies eram de ciclo metabólico C<sub>4</sub> (*Paspalum notatum* (grama-forquilha), *Paspalum dilatatum* (capim-melador), *Andropogon lateralis* (capim-caninha) e *Mnesithea selloana* (capim cola-de-lagarto)) e duas espécies, C<sub>3</sub> (*Nassella neesiana* (flechilha) e *Bromus auleticus* (cevadilha crioula)), submetidas a distintos intervalos de diferimento baseados no acúmulo térmico de 450, 900, 1350, 1800 e 2250 °C, nos períodos de primavera a verão, e outono a inverno. A massa de forragem acumulada foi crescente ao longo dos intervalos de diferimento, no entanto ocorreu uma forte redução na produção entre os experimentos de primavera a verão e outono a inverno, chegando a 80% em gramíneas C<sub>4</sub>. A proteína bruta (PB) da forragem foi negativamente influenciada pelo diferimento, principalmente durante a estação quente, no qual em espécies como *M. selloana* e *P. dilatatum* nos intervalos mais longos a PB chegou a 70g.kg<sup>-1</sup>, valor considerado limitante para o desempenho animal. A energia digestível (ED), por outro lado, teve maior redução durante o diferimento de outono a inverno, no qual foram registrados valores abaixo de 2600 kcal.kg<sup>-1</sup> em todas as espécies, com exceção de *B. auleticus*, a partir do intervalo de 1350 °C. A relação ED (kcal.kg<sup>-1</sup>):PB (g.kg<sup>-1</sup>) atingiu valores limitantes (acima de 35) apenas no diferimento de primavera a verão e em gramíneas C<sub>4</sub>. A dinâmica de produção de forragem e valor nutricional de gramíneas diferidas é influenciada pelos intervalos de diferimento, e pela época do ano que em que o diferimento é realizado.

Palavras-chave: Energia digestível. Pastagem natural. Proteína bruta. Reserva de pasto.

**ABSTRACT**

The main objective of this study was to evaluate the dynamics of forage production and nutritional value of six grasses native to South America natural grasslands managed under different stockpiling intervals, of which four species are C<sub>4</sub> metabolic cycle species (*Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum*, *Andropogon lateralis* and *Mnesithea selloana*) and two of them are C<sub>3</sub> species (*Nassella neesiana* and *Bromus auleticus*), subjected to different stockpiling intervals based on in the thermal accumulation of 450, 900, 1350, 1800 and 2250 °D, in the spring – summer, and autumn – winter seasons. The accumulated forage mass increased along the stockpiling intervals, however there was a strong reduction in production between the spring

– summer and autumn – winter experiments, reaching 80% in C<sub>4</sub> grasses. The crude protein (CP) of the forage was negatively impacted by the stockpiling interval, during the spring – summer season, in which in species like *M. selloana* and *P. dilatatum* in the longer intervals the CP reached 70g.kg<sup>-1</sup>, a value considered limiting for the animal performance. Digestible energy (DE), on the other hand, had a greater reduction during the autumn – winter stockpiling, in which values below 2600 kcal.kg<sup>-1</sup> were observed in all species, except for *B. auleticus*, from the interval of 1350 °C. The DE (kcal.kg<sup>-1</sup>): CP (g.kg<sup>-1</sup>) ratio reached limiting values (above 35) only in spring-summer stockpiling and in C<sub>4</sub> grasses. The dynamics of forage production and nutritional value of deferred grasses is influenced by the stockpiling intervals, and by the time of year in which the stockpiling is conducted.

Key- words: Crude protein. Digestible energy. Foggage. Natural grasslands

## INTRODUÇÃO

As pastagens naturais dos ecossistemas campestres da América do Sul, conhecidas como “Pastizales del Rio de la Plata” (Soriano et al., 1992) são ecossistemas nativos que compreendem um conjunto ambiental que abrange cerca de 0,5 milhões de km<sup>2</sup>, desde o centro-leste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil (JAURENA *et al.*, 2021) e correspondem à mais extensa região natural de campos temperados da América do Sul. Estes campos são ecossistemas naturais com alta biodiversidade, nos quais 4.864 espécies de plantas têm sido descritas (ANDRADE *et al.*, 2018), e em geral são utilizados como base pastoril da alimentação de bovinos e ovinos.

Estas pastagens naturais são compostas principalmente por gramíneas perenes, com predominância de espécies de crescimento estival (C<sub>4</sub>), enquanto as gramíneas perenes hibernais (C<sub>3</sub>) ocorrem em proporções variáveis em diferentes regiões do bioma, determinando distintas fitofisionomias (WAGNER *et al.*, 2018). A predominância das espécies C<sub>4</sub> resulta na redução da produção de forragem, e conseqüentemente na perda da qualidade do pasto devido ao acúmulo de material senescente no período de inverno.

Por outro lado, a produção primária no período de verão é fortemente determinada pelo regime pluviométrico (GUIDO *et al.*, 2014), que tem demonstrado um alto grau de variabilidade entre anos (BIDEGAIN *et al.*, 2012), resultando na redução significativa da produção de forragem nos anos de menor precipitação. Estas situações provocam um desequilíbrio na oferta interanual de forragem em respeito à demanda dos animais (BERRETTA *et al.*, 2000), tornando o sistema vulnerável, resultando na queda da eficiência produtiva nas áreas de pastagem natural (MILLOT; RISSO; METHOL, 1987).

Entre as práticas de manejo que minimizam os efeitos da sazonalidade da produção primária uma comumente utilizada é o diferimento de pastagens. O diferimento é uma estratégia de manejo que possibilita uma melhor utilização do pasto, permite o acúmulo de forragem de uma estação de maior produção para o seu uso em épocas de menor produção. O principal limitante desta prática de diferimento está na redução do valor nutricional do pasto, principalmente por aumentar a concentração de fibra e reduzir a sua digestibilidade e o teor de proteína bruta (PB) .

De fato, estes atributos são usualmente utilizados para nortear tomadas de decisões sobre o uso da suplementação na dieta (DIXON *et al.*, 2022). Por exemplo, relação entre proteína bruta e energia metabolizável (PB:EM, g/MJ) <7 ou relação entre nutrientes digestíveis totais (NDT) e PB (NDT(g.kg<sup>-1</sup>):PB(g.kg<sup>-1</sup>)) superior a 8 indicam limitação quanto ao fornecimento de N degradável no rúmex (COATES; DIXON, 2008; DIXON; COATES, 2010), sugerindo a necessidade de suplementação proteica (MOORE *et al.*, 1999). Nesse mesmo sentido, quando utilizamos a energia digestível (kcal.kg<sup>-1</sup>) como parâmetro para descrever o valor nutricional da forragem, pode-se considerar que dietas em que a relação ED(kcal.kg<sup>-1</sup>):PB(g.kg<sup>-1</sup>) é superior a 35 possuem quantidades inadequadas de N.

Contudo, as pastagens naturais são ambientes heterogêneos e não é claramente conhecido o impacto de estratégias de diferimento sobre os teores de PB e energia digestível de espécies individuais de gramíneas presentes nestas pastagens naturais (CURTIS; KALLENBACH, 2007) e sua relação com o desempenho dos animais em pastejo (BOVAL; EDOUARD; SAUVANT, 2014; ALLEN *et al.*, 2011).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica de produção de forragem e atributos nutricionais de espécies individuais predominantes de gramíneas nativas da América do Sul submetidas a distintos períodos de diferimento, na perspectiva de identificar intervalos adequados de diferimento de comunidades em que predominem tais espécies.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na cidade de Tacuarembó, na Estação Experimental do Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA Tacuarembó). A área experimental está localizada a 31°44'18,5" Sul e 55°58'47,9" Oeste, segundo a classificação de Köppen o clima é subtropical úmido (Cfa), a temperatura varia entre 11,5° C e 25°C, com média anual de 17,9°C, e a precipitação média anual é de 1280 mm (BEMHAJA; ANTUNEZ, 2000).

O estudo foi dividido em experimentos conduzidos ao ar livre em duas épocas do ano que antecedem os períodos mais críticos para a produção forrageira em pastagens naturais dos ecossistemas campestres da América do Sul. O experimento 1 foi realizado no período de primavera a verão, de 8 de novembro de 2019 a 14 de fevereiro de 2020, e o experimento 2 de outono a inverno, ocorreu entre 25 de março de 2020 a 20 de agosto de 2020.

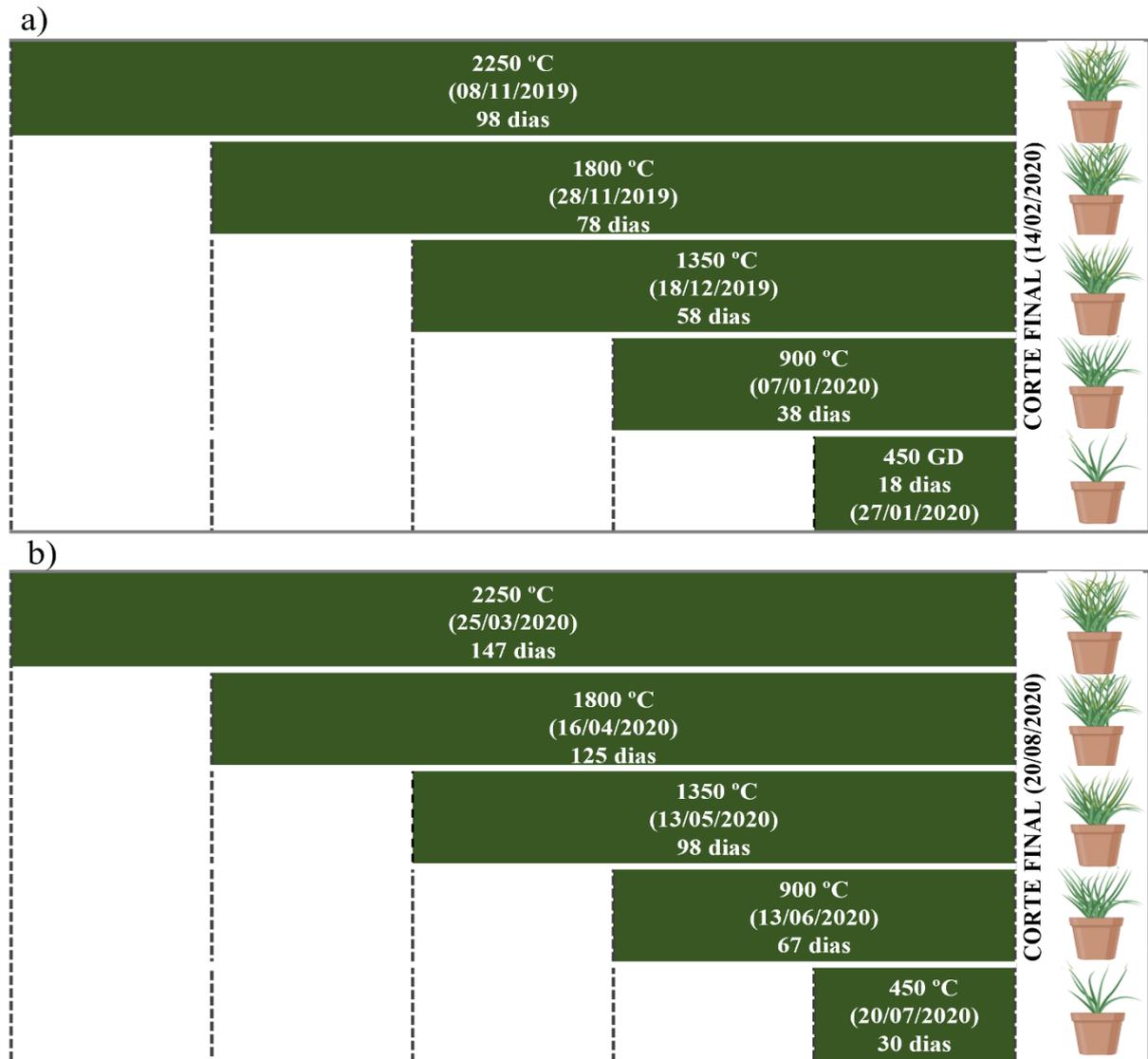
Foram utilizadas plantas originárias de propágulos vegetativos coletados a campo e implantadas em uma superfície central de 20 cm de diâmetro em vasos de 12 litros, com diâmetro superior de 30 cm e inferior de 21cm. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial considerando a interação entre cinco intervalos de diferimento, seis espécies de gramíneas nativas, e seis repetições por espécie em cada tratamento, onde as unidades experimentais foram os vasos (6 espécies  $\times$  5 intervalos de diferimento  $\times$  6 repetições por espécie em cada tratamento), totalizando 180 unidades.

Foram avaliadas seis espécies de gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata” representativas de distintos grupos funcionais (CRUZ *et al.*, 2019), dos quais, quatro foram espécies C<sub>4</sub> (*Paspalum notatum* (grama-forquilha), *Paspalum dilatatum* (capim-melador), *Andropogon lateralis* (capim-caninha) e *Mnesithea selloana* (capim cola-de-lagarto)) e duas espécies, C<sub>3</sub> (*Nassella neesiana* (flechilha) e *Bromus auleticus* (cevadilha crioula)). As amostras de *P. dilatatum* são de ecotipos pentaploides, e *P. notatum* de ecotipo diploide, ambos coletadas em uma área de solo arenoso. Nessa mesma região foram coletadas as amostras de *A. lateralis*, *M. selloana* e *B. auleticus*, dos quais não foi possível identificar o ecotipo. *N. neesiana*, foi coletada em uma área de solo com formação de basalto.

O substrato utilizado para o cultivo das plantas possuía as seguintes características: pH : 5,8, Carbono orgânico: 5,5%, fósforo Bray: 38 ppm, potássio 0,46 meq/100 g, cálcio: 16,6 meq/100 g. Para garantir condições não limitantes ao crescimento das plantas, imediatamente após cada corte, em todos os tratamentos, as plantas foram fertilizadas com uma dose de 2,2 g de ureia e 1,4 g de adubo 7:40:0 (NPK), o que equivale a 40 kg de N/ha e 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Além disso, ao longo de todo o experimento, foram aplicadas irrigações diárias de aproximadamente um litro de água por vaso, mantendo um nível mínimo de 50% de disponibilidade de água no solo.

Os tratamentos foram cinco intervalos de diferimento baseados na soma térmica (°C) 450, 900, 1350, 1800 ou 2250. No início dos experimentos todas as plantas foram cortadas, e a cada 450 °C um novo tratamento era iniciado (Figura 1 a e b). A soma térmica (em °C) foi calculada a partir da soma da temperatura média acima de zero de cada dia.

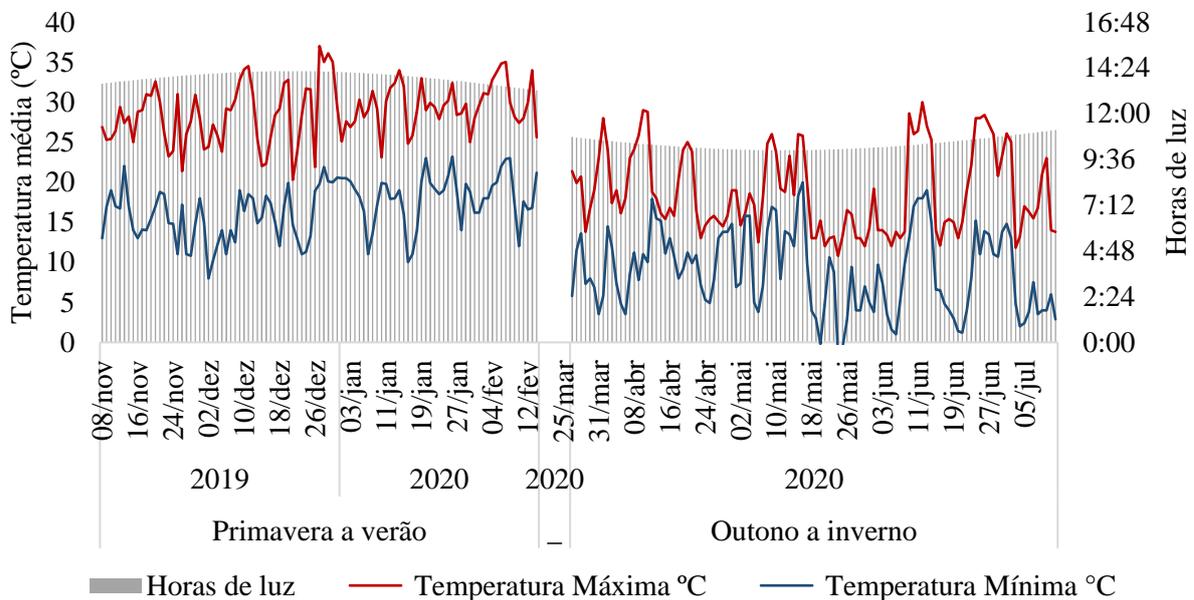
Figura 1- Intervalos de diferimento, datas de início de cada diferimento e número de dias de diferimento nos experimentos de primavera a verão (a) e outono a inverno (b).



Linhas tracejadas representam os cortes realizados; as áreas claras representam os períodos antes do início do acúmulo térmico de cada tratamento; e as áreas escuras representam período acumulado em cada.

As temperaturas médias foram coletadas diariamente no banco de dados agroclimáticos da estação meteorológica do INIA Tacuarembó, e o número diário de horas de luz foi obtido na página (MAPLOGS, 2022) (Figura 2). No experimento de primavera a verão, a temperatura média diária foi de 22°C, a média de temperatura máxima foi de 29 °C e a média mínima foi de 17°C (Figura 2). O tempo médio de luz do dia foi de 13h54 min. No experimento de outono a inverno a temperatura média foi de 14°C, variando de 9 a 17°C, embora em três ocasiões foram identificadas temperaturas negativas. O tempo médio de luz diário foi de 10h 24 min.

Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas diárias, e horas de luz diárias dos experimentos 1 e 2.



As plantas em cada vaso foram cortadas a uma altura de 5 cm do solo, com o auxílio de um aro de metal de 62,8 cm<sup>2</sup> para delimitação da área de colheita no centro do vaso. Após o corte, o material foi pesado e separado manualmente em folhas, colmos, bainhas e material morto (MM), os quais foram então secos em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 40°C por no mínimo 72 horas até atingir peso constante.

A massa de forragem (MF) acumulada (g) por vaso foi obtida através da soma do peso seco dos componentes estruturais. A contribuição dos componentes foi calculada dividindo o peso seco de cada componente pela MF total acumulada em cada vaso.

Para análise laboratorial, os componentes estruturais previamente secos da biomassa de forragem de cada unidade experimental foram agrupados novamente e moídas em um moinho Thomas-Wiley (Thomas Scientific, Swedesboro, NY, peneira com malha de 1mm). O teor de PB foi analisado pelo método Dumas de acordo com o procedimento 968.06 da Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005), em um analisador elementar LECO CHN 628 (United States, Michigan, 2018). Para o ajuste do equipamento foram utilizadas 10 amostras de composição conhecida (alfafa) e 3 amostras de EDTA (material de referência do equipamento LECO). A cada 50 amostras analisadas, o equipamento foi novamente calibrado com o EDTA. Após analisadas todas as amostras, utilizou-se a diferenças dos tercios em relação à média para

determinar os limites inferior e superior do grupo de amostras, desta forma, as análises que se encontraram fora destes limites foram repetidas. O N obtido através das análises foi multiplicado pelo fator de conversão 6,25 para obtenção da concentração de PB de cada amostra.

A digestibilidade da matéria orgânica (DMO) foi determinada *in situ*. Para tal, aproximadamente 1g de cada amostra seca e moída foi pesada em duplicata em bolsas de poliamida de 5 × 5 cm (40 µ de porosidade) e incubadas por 48 horas no rúmen de um boi fistulado, mantido em uma pastagem de *Cynodon* sp. Posteriormente, as bolsas foram retiradas do rúmen, lavadas em água corrente e levadas a uma estufa a 110°C por no mínimo 8h, e pesadas. As cinzas foram determinadas após combustão a 600°C por 3h, e a MO calculada por diferença de massa. O teor de MO digestível (MOD, g.g<sup>-1</sup> de MS) foi obtido como segue:  $(MO\ incubada(g) - MO\ residual(g)) / MS\ incubada(g)$  (KOZLOSKI *et al.*, 2018). O teor de energia digestível (ED, kcal/g) foi calculada multiplicando o teor de MOD por 4,409. Posteriormente, foi calculada a relação ED (kcal.kg<sup>-1</sup>MS):PB (g.kg<sup>-1</sup>MS).

Os dados obtidos em cada período do ano foram submetidos à análise de variância pelo PROC GLM do SAS utilizando-se o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + I_i + E_j + (IE)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

onde  $Y_{ij}$  representa a variável dependente,  $\mu$  é a média de todas as observações,  $I_i$  corresponde ao efeito dos intervalos de diferimento,  $E_j$  corresponde ao efeito da espécie de planta,  $(IE)_{ij}$  representa a interação entre os tratamentos e espécies e  $\varepsilon_{ij}$  corresponde ao erro residual.

A normalidade da distribuição dos resíduos de todas as variáveis foi testada, e quando observada distribuição não normal ( $P < 0,05$ ) a variável foi transformada pela raiz quadrada ou logaritmo. Quando detectado efeito significativo de tratamento e/ou espécie ( $P < 0,05$ ), o comando PDIFF foi utilizado para separar as médias dos tratamentos com um intervalo de confiança de 95% no teste de Tukey. Contrastes polinomiais ortogonais lineares, quadráticos e cúbicos foram testados para avaliar o efeito dos tratamentos sobre a massa de forragem, proteína bruta e energia digestível.

## RESULTADOS

### *Massa de forragem e contribuição de componentes estruturais do pasto*

A MF acumulada durante o período de primavera a verão foi influenciada pelos intervalos de diferimento e pela espécie de gramínea ( $P < 0,05$ ). A interação entre os fatores foi significativa ( $P < 0,05$ , Figura 3).

A MF aumentou linearmente, com o aumento do intervalo de diferimento nas espécies C3 (*B. auleticus* e *N. neesiana*) ( $P < 0,001$ , Figura 3), em *M. selloana*, *P. dilatatum* e *P. notatum* os intervalos de diferimentos apresentaram efeito quadrático sobre a MF ( $P < 0,023$ ), e em *A. lateralis* um efeito cúbico foi registrado ( $P = 0,042$ ). *Paspalum dilatatum* apresentou maior produção de forragem, sendo que os tratamentos de maior intervalo de descanso (1800 e 2250 °C) não apresentaram diferenças significativas nesta espécie.

Observou-se uma forte redução na produção de forragem entre os experimentos de primavera a verão e o de outono a inverno, principalmente nas gramíneas de ciclo estival. Em média as espécies C4 tiveram uma redução de 80% na produção de forragem, enquanto nas espécies C3 essa redução foi de 50%.

No período de outono a inverno, a interação entre tratamento e espécies estudadas também foi significativa ( $P < 0,05$ ). A MF foi linearmente crescente nas espécies *M. selloana*, *N. neesiana* e *P. notatum* ( $P < 0,001$ ) (Figura 3), enquanto nas demais espécies um efeito quadrático foi observado ( $P < 0,002$ ).

As espécies de gramíneas C3 tiveram o maior MF nos tratamentos de 1800 e 2250 °C. As espécies de gramíneas C4 tiveram MF semelhantes no tratamento de 450 °C (5g) ( $P > 0,005$ ), no tratamento 2250 °C ( $P < 0,001$ ), quando a maior produção foi atingida, as médias foram diferentes, em *A. lateralis* (33,5g), *P. dilatatum* (22,5g) e *P. notatum* e *M. selloana* (11,3g).

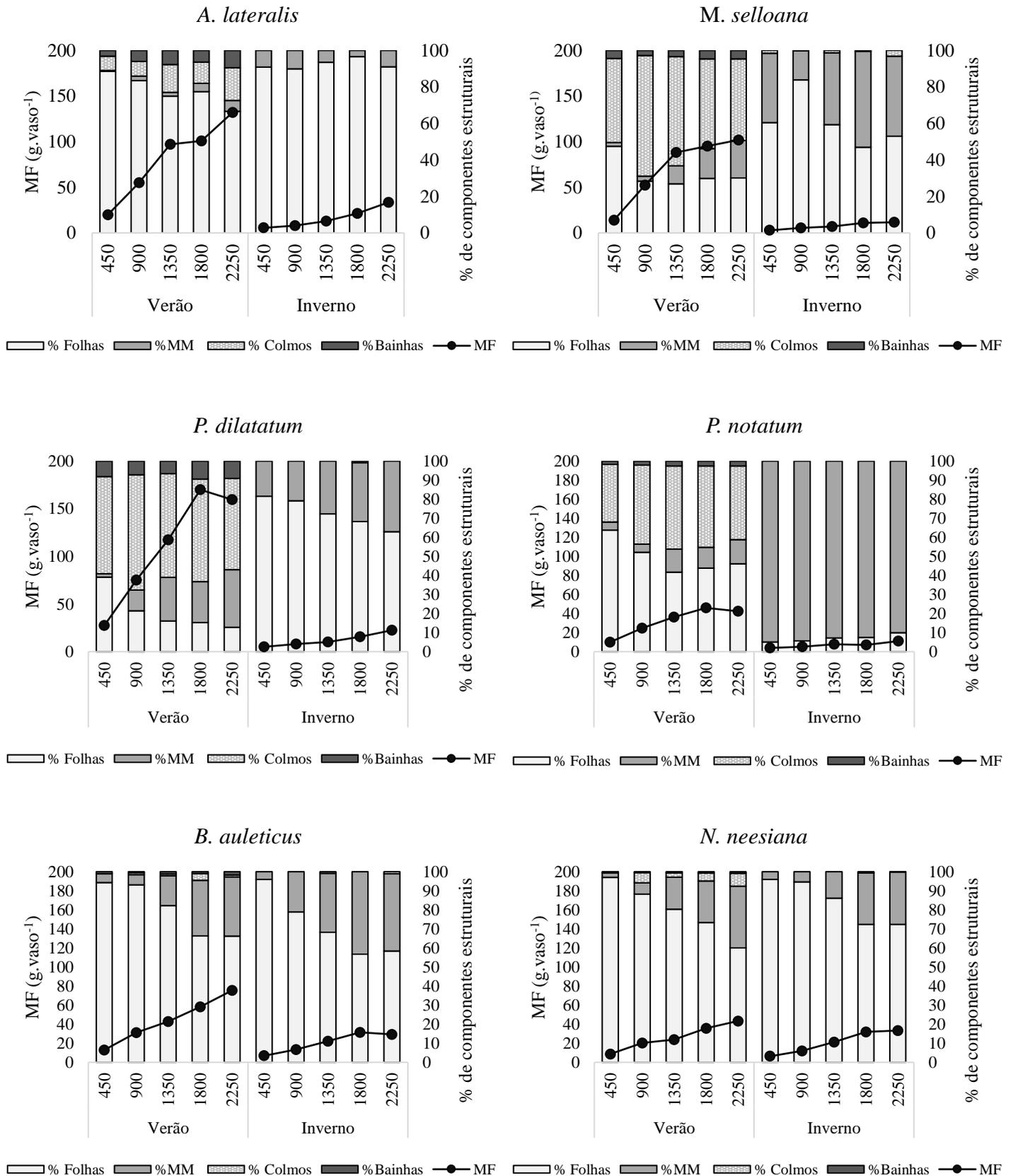
No período de primavera a verão, todas as espécies apresentaram redução na % de folhas ao longo dos períodos de diferimento ( $P < 0,05$ ). Em *B. auleticus* a contribuição de folhas na massa de forragem variou de 94% nos intervalos de 450 e 900 °C a 66% nos intervalos de 1800 e 2250 °C ( $P < 0,001$ ) (Figura 3). *S. neesiana* apresentou uma média de 93% de folhas nos dois intervalos de menor duração, e 60% no de maior ( $P = 0,001$ ).

Dentre as espécies gramíneas C4, *A. lateralis* foi a que apresentou maior contribuição de folhas, variando de 89% a 67% entre os intervalos de menor e maior duração ( $P = 0,0047$ ). *M. selloana* teve uma forte redução na % de folhas entre o intervalo de 450 °C e os demais, com médias de 47,8 e 29%, respectivamente ( $P < 0,001$ ), enquanto em *P. notatum* foi observada uma

redução de 64% no intervalo de 450 °C para 44% nos três intervalos mais longos (0,002). *P. dilatatum* apresentou a menor contribuição de folhas dentre todas as espécies, e a maior redução na contribuição entre os períodos, com médias de 39% em 450 °C a 16% em 2250 °C ( $P < 0,001$ ).

A contribuição de material morto (MM) na massa de forragem na primavera a verão foi inversamente proporcional a de folhas, e foi influenciada pelas espécies ( $P < 0,001$ ) e intervalos de diferimento avaliados ( $P < 0,001$ ) (Figura 3). Espécies  $C_3$  apresentaram a menor porcentagem de MM em relação às demais, seguidas de *A. lateralis* e *P. notatum*. Por fim, *M. selloana* e *P. dilatatum* apresentaram os maiores valores dessa variável, chegando a 32% no intervalo 2250 °C.

Figura 3 - Massa de forragem acumulada e contribuição de componentes estruturais de gramíneas nativas dos "Pastizales del Río de la Plata" submetidas a distintos períodos de descanso nos períodos de primavera a verão e outono a inverno.



Barras representam o erro padrão da média; MF= massa de forragem; MM = material morto.

No período de outono a inverno a contribuição de folhas na MF não variou entre tratamentos nas espécies *A. lateralis* ( $P=0,052$ ) e *P. notatum* ( $P=0,054$ ) que apresentaram médias de 92% e 7%, respectivamente (Figura 3). *P. notatum* foi a espécie que teve a menor contribuição de folhas em todos os intervalos avaliados ( $P<0,05$ ), enquanto *A. lateralis* foi uma das espécies que manteve as maiores médias ao longo dos intervalos, com diferenças importantes em relação às demais espécies nos períodos mais longos de diferimento (1800 e 2250 °C).

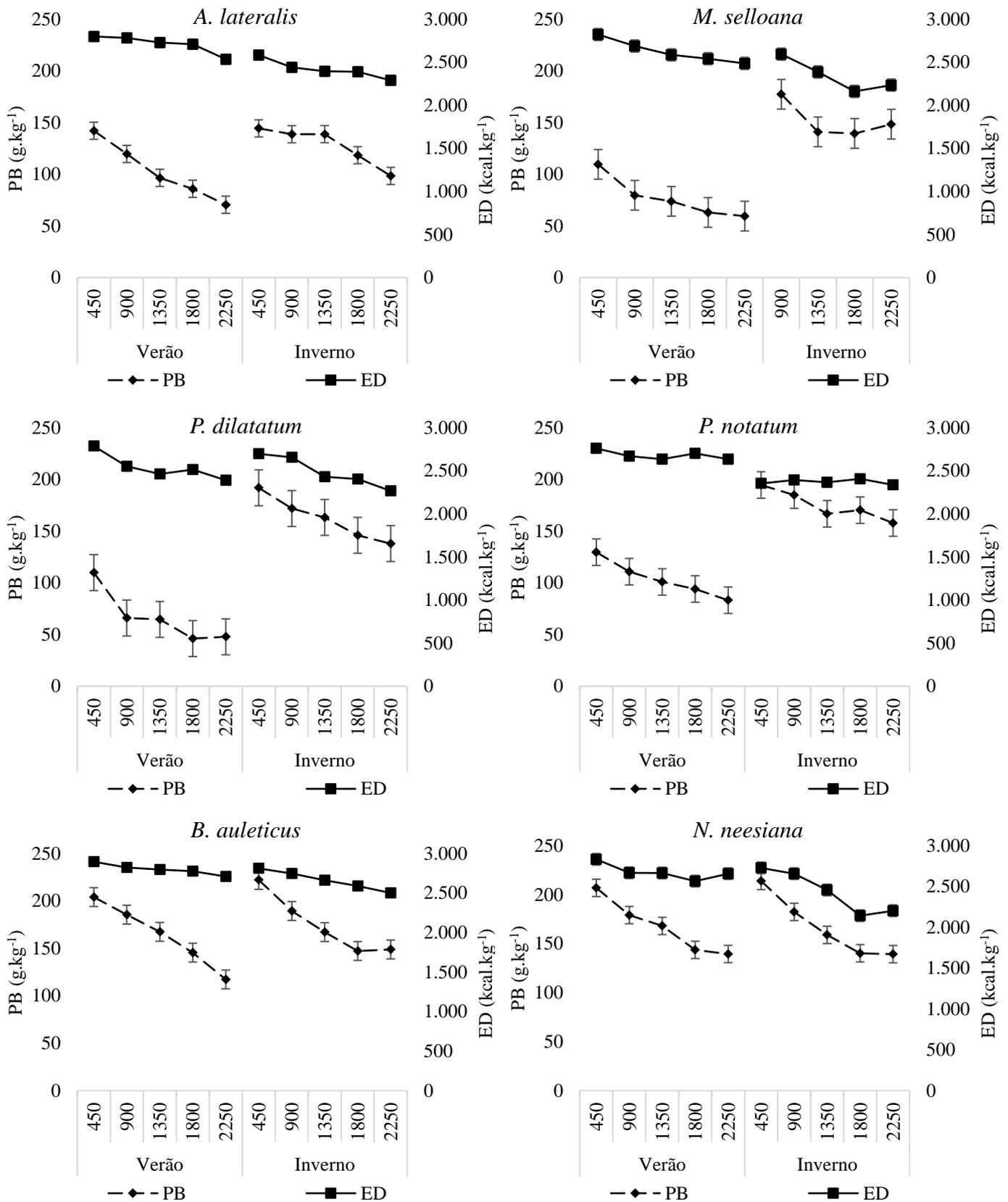
As espécies gramíneas  $C_3$  tiveram altas contribuições de folhas ao longo dos intervalos de descanso, principalmente *N. neesiana* com médias que variaram de 95% nos intervalos de 450 e 900 °C e 72% nos tratamentos de 1800 e 2250 °C ( $P<0,001$ ). A % de folhas também foi variável em *B. auleticus* ( $P<0,001$ ) que apresentou alta contribuição no menor intervalo (96%), e uma forte redução desta variável, chegando a 58% nos intervalos de 1800 e 2250 °C. A contribuição de folhas em *P. dilatatum* variou entre os intervalos de diferimento ( $P=0,022$ ) de 82% no intervalo 450 °C a 63% no intervalo de 2250 °C, e *M. selloana* teve a maior contribuição de folhas no tratamento 900 °C (84%), e a menor no tratamento 1800°C (47%) ( $P=0,005$ ).

A contribuição de MM também não foi influenciada pelos intervalos de diferimento nas espécies *A. lateralis* ( $P=0,052$ ) e *P. notatum* ( $P=0,054$ ) que apresentaram médias de 8% e 93%, respectivamente (Figura 3). Nas espécies  $C_3$  a contribuição de MM variou de 4% no tratamento 450°C, em ambas as espécies, a 42% em *B. auleticus* ( $P<0,001$ ) e 27% em *N. neesiana* ( $P<0,001$ ) nos tratamentos 1800 e 2250 °C. *P. dilatatum* teve variação de 18% a 37% entre os tratamentos 450 e 2250 °C, respectivamente ( $P=0,024$ ), enquanto *M. selloana* teve a menor contribuição de MM na massa de forragem no tratamento 900°C (16%) e a maior nos tratamentos 1800 e 2250 (48%) ( $P=0,009$ ). A porcentagem de colmos e bainhas não foi influenciada pelos intervalos de descanso avaliados, e contribuiu com menos de 1% da MF ( $P=0,233$ ).

### *Proteína bruta*

O teor de PB das gramíneas durante a primavera a verão foi influenciado pelos intervalos de descanso e pelas espécies de plantas estudadas ( $P<0,005$ ), sendo a interação entre estes fatores significativa ( $P<0,001$ ) (Figura 4). Os intervalos de descanso influenciaram negativamente nos teores de PB, com efeito quadrático em *M. selloana* ( $P=0,007$ ) e *A. lateralis* ( $P=0,046$ ), cúbico em *P. dilatatum* ( $P=0,03$ ), e linear nas demais espécies ( $P<0,001$ ).

Figura 4- Teores de energia digestível e proteína bruta em espécies de gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata” submetidas a distintos intervalos de diferimento nos períodos de primavera a verão e outono a inverno.



Barras representam o erro padrão da média.

Quanto às diferenças entre espécies observou-se três diferentes comportamentos: 1) os maiores teores de PB ocorreram em gramíneas de ciclo hibernar (*N. neesiana* e *B. auleticus*), que foram semelhantes nos tratamentos 450 (209 g.kg<sup>-1</sup>), 900 (194 g.kg<sup>-1</sup>), 1350 (167 g.kg<sup>-1</sup>) e 1800 °C (144 g.kg<sup>-1</sup>). No entanto, no tratamento 2250 °C a contribuição de PB em plantas de *N. neesiana* (139 g.kg<sup>-1</sup>) foi maior que em *B. auleticus* (117 g.kg<sup>-1</sup>); 2) *A. lateralis* e *P. notatum* apresentaram teores intermediários de PB, que foram semelhantes entre as duas espécies nos tratamentos 450, 900, 1350, e 1800 °C, com médias de 136, 115, 98 e 90 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto no tratamento 2250 os teores de PB foram de 83 g.kg<sup>-1</sup> em *P. notatum* e 70 g.kg<sup>-1</sup> em *A. lateralis* (Figura 4); 3) *M. selloana* e *P. dilatatum* apresentaram os menores teores de PB, com maior concentração no tratamento de menor intervalo (110 g.kg<sup>-1</sup>), e forte redução nos demais tratamentos, chegando a 54 g.kg<sup>-1</sup> no de maior intervalo de diferimento.

Durante o outono e inverno *M. selloana* teve quantidade de forragem coletada no tratamento 450 °C insuficiente para a realização das análises de PB e ED. A interação entre tratamentos e espécies para o teor de PB foi significativa (P<0,05). Observou-se efeito decrescente linear dos intervalos de diferimento na PB das espécies *P. notatum* e *P. dilatatum* (P<0,05), e quadrático nas demais espécies (P<0,05). Os valores variaram de 144 g.kg<sup>-1</sup> a 98 g.kg<sup>-1</sup> em *A. lateralis*. No intervalo 450 °C as médias foram de 221; 213 e 191 g.kg<sup>-1</sup> nas espécies, *B. auleticus*, *N. neesiana* e *P. dilatatum*, respectivamente, enquanto no intervalo 2250 °C estas espécies apresentaram valores semelhantes (aproximadamente 140 g.kg<sup>-1</sup>). *M. selloana* teve variação de 177 g.kg<sup>-1</sup> no intervalo de 900 °C a 140 g.kg<sup>-1</sup> de PB nos intervalos de 1350 e 1800 °C. *P. notatum* apresentou média de 169 g.kg<sup>-1</sup> de PB, não variando entre os tratamentos de diferimento.

### *Energia digestível*

A interação entre tratamentos e espécies de plantas foi significativa para energia digestível (ED) durante a primavera a verão (P<0,001) e outono a inverno (P<0,001) (Figura 4). No estudo realizado durante a estação quente, a ED foi negativamente influenciada pelos intervalos de diferimento com exceção de *P. notatum* (P=0,07) que apresentou média de 2678 kcal.kg<sup>-1</sup> em todos os intervalos. Observou-se efeito cúbico decrescente da energia digestível na espécie *N. neesiana* e linear decrescente nas demais espécies (P<0,01). *P. dilatatum* apresentou variação de -17% na ED entre os intervalos de menor (2787 kcal.g<sup>-1</sup>) e maior descanso (2390 kcal.g<sup>-1</sup>), representando a espécie com a maior queda na digestibilidade ao

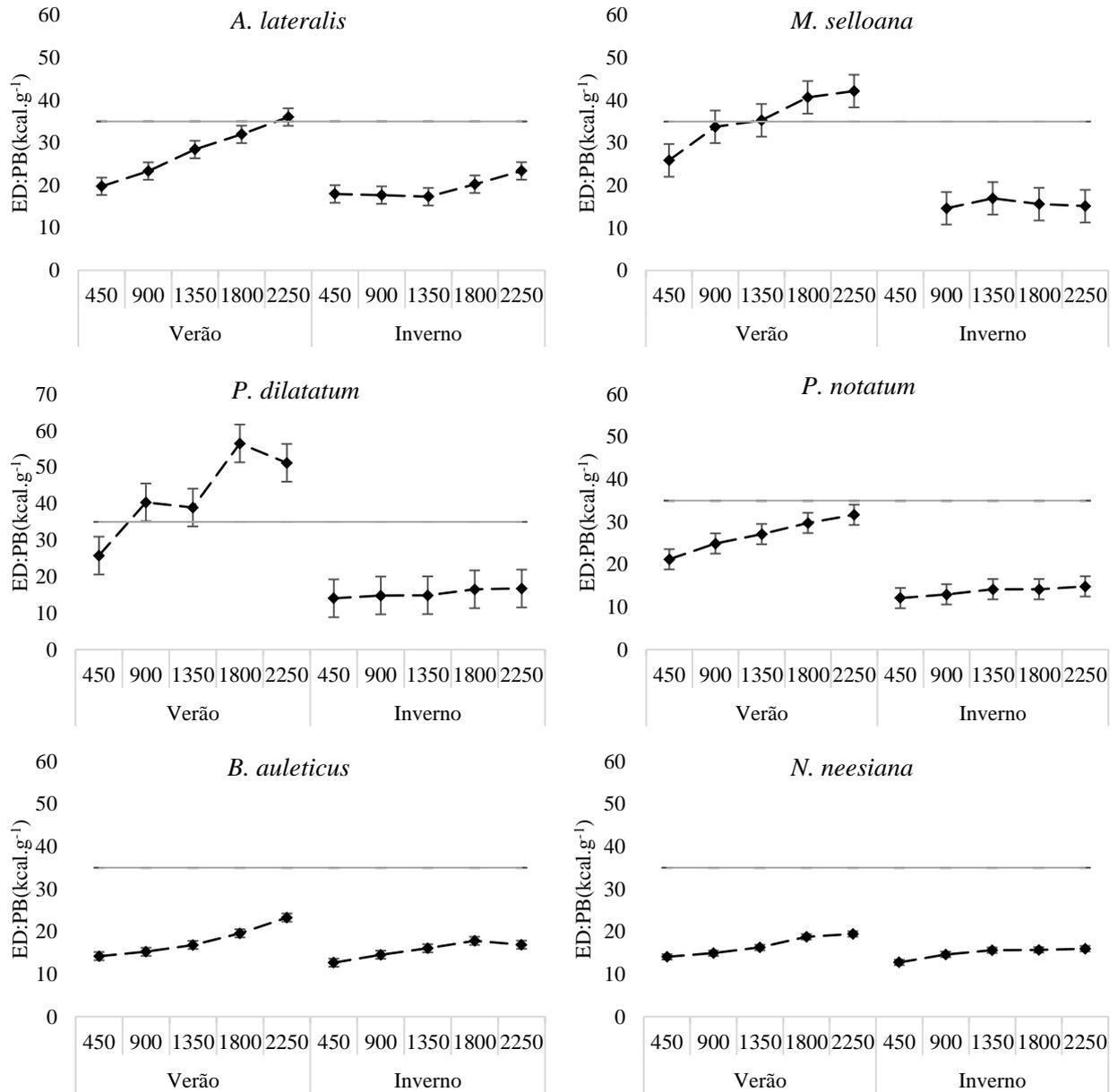
longo dos intervalos, seguido de *M. selloana*, que teve uma variação de -13% (2787 a 2486 kcal.g<sup>-1</sup>). A ED em *A. lateralis* variou cerca de -10% entre os tratamentos de menor e maior intervalo, com médias de 2799 kcal.g<sup>-1</sup> e 2534 kcal.g<sup>-1</sup>, respectivamente. *S. neesiana* teve variação de -10%, no entanto, o menor teor de ED ocorreu no intervalo de 1800°C. *B. auleticus*, apresentou variação de -7% de 2893 a 2706 kcal.g<sup>-1</sup> entre os tratamentos de menor e maior intervalo de diferimento.

No período de outono a inverno, o efeito dos tratamentos não foi significativo para a ED em *A. lateralis*, *P. notatum* e *M. selloana* ( $P > 0,05$ ), que apresentaram médias de 2398, 2370 e 2308 kcal.kg<sup>-1</sup>, no entanto, os tratamentos impactaram negativamente e linearmente os teores de ED nas demais espécies ( $P < 0,05$ ). A maior redução na energia digestível no período de inverno ocorreu em *S. neesiana*, variando de 2727 a 2142 kcal.g<sup>-1</sup> (-27%). Em *B. auleticus* a variação foi de -12%, de 2810 a 2499 kcal.g<sup>-1</sup>. *P. dilatatum* apresentou redução de 2697 a 2267 kcal.g<sup>-1</sup> (-19%) entre os intervalos de menor e maior intervalo.

#### *Relação ED:PB*

A relação ED:PB foi superior ao limite crítico de 35 kcal.g<sup>-1</sup> em pelo menos um intervalo de diferimento no período de primavera a verão nas espécies C<sub>4</sub> com exceção de *P. notatum* (Figura 5). *P. dilatatum* atingiu valores mais altos, acima de 50. As espécies C<sub>3</sub> apresentaram valores ao redor de 20, independente da quantidade de forragem acumulada. Por outro lado, no período de outono a inverno a relação ED:PB manteve-se abaixo de 25 em todas as espécies, no entanto, a produção de forragem nessa estação também foi baixa, tanto em espécies C<sub>3</sub> como C<sub>4</sub>.

Figura 5 – Relação entre os teores de energia digestível (ED) e proteína bruta (PB) no período de primavera a verão (a) e outono a inverno (b) em seis espécies de gramíneas nativas dos “Pastizales del Río de la Plata”.



Barras representam o erro padrão da média; Linha horizontal representa o valor da relação a partir do qual ocorre limitação nos teores de PB (35 kcal.g<sup>-1</sup>).

## DISCUSSÃO

### *Produção de forragem e componentes estruturais*

Como esperado, em geral o aumento do período de diferimento tanto na primavera a verão quanto no outono a inverno possibilitou maiores acúmulos de forragem pelas gramíneas. Nos períodos de diferimento mais longos ( $\geq 1350$  °C) de primavera a verão as gramíneas C<sub>4</sub>

*Paspalum dilatatum*, *Andropogon lateralis* e *Mnesithea selloana* apresentaram maior acúmulo de forragem que as C<sub>3</sub> e a C<sub>4</sub> prostrada *Paspalum notatum*. Esta resposta ocorre porque gramíneas C<sub>4</sub> tem maior capacidade de acumular forragem que as C<sub>3</sub> com temperaturas acima dos 25 graus (EHLERINGER; CERLING; HELLIKER, 1997) como ocorreu no período de primavera a verão.

Por outro lado, os resultados do experimento confirmaram que *Paspalum notatum* possui pouca capacidade de desenvolver-se verticalmente devido ao seu hábito de crescimento prostrado, e sua produção de forragem pode ter sido subestimada devido à altura de corte de 5cm, além disso, sua produção é muito reduzida em fotoperíodos decrescentes, como ocorreu no experimento de outono a inverno (SINCLAIR; MISLEVY; RAY, 2001; WALLAU *et al.*, 2019). A menor produção de forragem do diferimento no período de outono a inverno deve-se às menores temperaturas médias diárias e ao menor fotoperíodo, registrando uma diferença produtiva entre C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> muito menor que no período primavera a verão.

Quanto a composição estrutural da forragem acumulada, observou-se três diferentes padrões: i) gramíneas C<sub>3</sub> e *A.lateralis* mantiveram altas contribuições de folhas em ambos os experimentos avaliados; ii) *M. selloana* e *P. dilatatum*, apresentaram maiores contribuições de folhas no outono a inverno que em primavera a verão, e iii) *P. notatum* apresentou menores contribuições de folhas no outono a inverno que em primavera a verão (mais de 90% de material morto no período de inverno).

A baixa contribuição de colmos de *A. lateralis*, diferente ao demonstrado em experimento a campo segundo ZANELLA *et al.* (2021), pode ser resultante da plasticidade fenotípica característica da espécie (SIMIONI *et al.*, 2022). *P. dilatatum*, *M. selloana* e *P. notatum*, entraram em período reprodutivo durante o diferimento de primavera a verão o que ocasionou as maiores contribuições de colmo no experimento 1. No entanto, a baixa temperatura e a redução do fotoperíodo durante o segundo experimento (outono a inverno) teve forte influência, principalmente na composição estrutural de *P. notatum* gerando uma grande proporção de material senescente (SINCLAIR *et al.*, 2004).

#### *Valor nutricional do pasto*

O prolongamento dos intervalos de diferimento resultou na redução do valor nutricional da forragem principalmente devido à variação na contribuição dos seus componentes estruturais, como previamente reportado por (LEMAIRE; BELANGER, 2019) À medida que aumenta o período de diferimento, ocorre espessamento da parede celular para manter a maior estrutura da planta, e conseqüentemente, uma redução da digestibilidade e dos teores de

proteína bruta (LEMAIRE; BELANGER, 2019). Esse impacto foi marcante principalmente na primavera a verão, que está relacionado ao acúmulo de colmos especialmente nas espécies C<sub>4</sub> (exceto em *A. lateralis*) ao longo dos períodos de diferimento.

O maior teor de PB da forragem ocorre nos estratos superiores das folhas verdes (NÚÑEZ *et al.*, 2022). Contudo, em espécies de gramíneas C<sub>4</sub> com alto acúmulo de forragem, o teor de PB pode ser inferior a 70 g.kg<sup>-1</sup>, o qual reduz a atividade dos microrganismos ruminais, e conseqüentemente limita a taxa de passagem e o consumo animal da forragem (DIXON *et al.*, 2022; MOORE *et al.*, 1999). Os requerimentos mínimos de PB na alimentação de bovinos de corte normalmente variam entre 70 e 110 g.kg<sup>-1</sup> (NRC, 2000). Novilhas em recria com ganho médio diário esperado de 0,3 kg día<sup>-1</sup> tem requerimentos de PB na dieta de 90 g.kg<sup>-1</sup> (NRC, 2000).

No experimento de primavera a verão esse valor foi atingido nas gramíneas C<sub>3</sub> independente do intervalo de diferimento utilizado, em *A. lateralis* manteve-se até o intervalo de 1350 °C e em *P. notatum* até 1800 °C, e nas demais espécies (*P. dilatatum* e *M. selloana*) apenas no tratamento 450 °C. Durante o diferimento de outono a inverno a PB não é nutriente limitante para a produção animal, no entanto, as limitações nutricionais podem ocorrer devido à baixa produção de forragem. Portanto, o período de diferimento das pastagens deve ser condicionado pelas espécies dominantes das comunidades de pastagens nativas, pelo acúmulo de biomassa combinado com os níveis necessários de requerimentos nutricionais dos ruminantes (FEDRIGO *et al.*, 2021).

A ED teve uma diluição similar a encontrada na concentração de PB com o acúmulo de forragem descrito por (LEMAIRE; BELANGER, 2019). A quantidade de energia consumida pelos animais apresenta uma alta relação com desempenho produtivo (BOVAL; EDOUARD; SAUVANT, 2014), o teor de ED presente na forragem é um fator importante para determinar o ganho de peso dos animais, assim como para estabelecer estratégias de alimentação do rebanho com base nos valores recomendados. Existem dois principais fatores que influenciam a redução da digestibilidade com o aumento da produção de forragem, que são o aumento de componentes de sustentação a medida e a planta cresce, e a maturação das paredes celulares em tecidos estruturais (LEMAIRE; BELANGER, 2019).

No presente estudo, a maior variação no teor de ED ocorreu durante o outono e inverno, no qual a contribuição de colmos foi muito baixa, portanto, o fator que provavelmente teve maior influência nessa variável foi a maturação das paredes celulares, e as altas contribuições de material senescente com o aumento dos períodos de diferimento. Além disso, este segundo experimento foi marcado por baixas temperaturas, com mínimas chegando a valores abaixo de zero. De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002), temperaturas baixas, provocam a

morte de plantas ou de parte delas devido ao congelamento dos tecidos vegetais, que também pode ter influenciado na qualidade do pasto, e de acordo com os resultados observados nota-se que a ocorrência de geadas e do menor fotoperíodo tem uma influência maior sobre a ED do que sobre a PB.

De acordo com o NRC (2000) os valores mínimos de ED recomendados para animais em recria estão ao redor de 2600 kcal.kg<sup>-1</sup>. No experimento de diferimento de primavera a verão os valores mínimos em *B. auleticus* e *P. notatum* em todos os intervalos de diferimento foram superiores a 2600 kcal.kg<sup>-1</sup>, demonstrando que a ED não é um fator limitante no diferimento dessas espécies. No entanto, as demais espécies apresentaram limitações nos teores de ED em pelo menos um dos períodos de diferimentos avaliados.

Os diferimentos de outono a inverno ocasionam maiores limitações quanto a digestibilidade da forragem, no qual, as espécies C<sub>4</sub> *A. lateralis* e *P. notatum* apresentaram valores abaixo dos recomendados a partir do intervalo de diferimento mais curto (450 °C). As demais espécies C<sub>4</sub> também apresentaram valores mais baixos de ED nos dois intervalos mais longos (1800 e 2250 °C), demonstrando que principalmente em diferimentos de outono a inverno que o desempenho dos animais poderá ser limitado pela quantidade de ED disponível.

A relação ED: PB é um importante fator para determinar os intervalos de diferimento mais adequados para cada espécie de gramínea, e para determinar o momento em que é necessário o uso da suplementação para contornar as deficiências de nutrientes que podem ocorrer com o aumento da MF. Quando essa relação é maior que 35kcal.g<sup>-1</sup> (ou 8 quando considera-se o NDT ao invés da ED) a dieta é deficiente em PB tornando necessária a suplementação proteica (DIXON *et al.*, 2022; MOORE *et al.*, 1999).

Em diferimentos de primavera a verão observou-se três padrões da relação ED:PB: i) espécies C<sub>3</sub> apresentaram valores inferiores a 35 em independente da MF acumulada, demonstrando que essas espécies podem ser submetidas a longos períodos de diferimento sem que haja limitação no teor de PB; ii) em *P. notatum* e em *A. lateralis* a limitação ocorreu em intervalos acima de 1800 °C; iii) *P. dilatatum* e *M. selloana* apresentaram valores superiores ao limitante acima de 900 °C, não sendo recomendadas para uso em diferimentos longos.

Em casos em que sejam empregados períodos longos de diferimentos em comunidades com predominância de *P. dilatatum* ou *M. selloana*, haverá uma alta relação ED:PB na forragem ofertada, portanto será necessário o uso da suplementação proteica afim de contornar as deficiências de PB na dieta. Considerando a temperatura média observada no período de primavera a verão, espécies C<sub>3</sub> poderiam ser submetidas a até 100 dias de descanso, *P. notatum* e *A. lateralis* até 80 e as demais espécies, até 40 dias. Moore, Kunkle e Brown (1991) descrevem que forragens maduras apresentam uma baixa relação ED:PB porque tanto a ED quanto a PB

são baixas. No entanto, nos diferimentos de outono a inverno a relação ED:PB abaixo de 35 em todas as espécies independente do período utilizado foi resultante dos altos teores de PB e da baixa ED que ocorreram nesse período. Nesse caso, gramíneas C<sub>3</sub> podem ser diferidas por até 130 dias no período de outono a inverno sem limitações quanto a ED. Por outro lado, quando há predominância de espécies C<sub>4</sub> na comunidade vegetal, poderá ocorrer limitação quanto a quantidade de forragem produzida, ou quanto a quantidade de energia digestível da forragem. Dependendo do intervalo de diferimento utilizado haverá a necessidade de suplementação energética para contornar as limitações nutricionais do pasto.

## **CONCLUSÃO**

O valor nutricional de espécies de gramíneas nativas é influenciado não somente pelos intervalos de diferimento, como também pela época em que a prática é aplicada. O aumento do período de descanso durante a primavera a verão reduz principalmente o teor de proteína bruta das espécies C<sub>4</sub> e, no outono e inverno, reduz principalmente o teor de energia digestível de todas as espécies avaliadas.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, Vivien G. *et al.* An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, 2011. v. 66, n. 1, p. 2–28. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>. Acesso em: 22 ago. 2021.

ANDRADE, Bianca Ott. *et al.* Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2018. v. 188, n. 3, p. 250–256. Disponível em: <https://academic.oup.com/botlinnean/article-abstract/188/3/250/5125667>. Acesso em: 12 jul. 2021.

AOAC. Official Methods of Analysis. Maryland, USA: **AOAC International**, 2005.

BEMHAJA, María, ANTUNEZ, Juan. Estacion meteorologica glencoe: lluvia, evaporacion y temperaturas maximas y minimas promedio: 1999-2000. **Jornada U.E. "Glencoe"**, 2000. INIA Tacuarembó. Disponível em: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9119/1/SAD-239p11-12.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

BERRETTA, E. J. *et al.* Campos in Uruguay. In: LEMAIRE, G. *et al.* (Org.). **GRASSLAND ECOPHYSIOLOGY AND GRAZING ECOLOGY**. Curitiba- PR: CAB International, 2000, p. 377–394.

BIDEGAIN, Mario *et al.* Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Vol I. **Variabilidad climática de importancia para el sector productivo**. Montevideo -UY: FAO - MGAP, 2012. V. I. Disponível em: <https://www.fao.org/3/as253s/as253s.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2021.

BOVAL, Maryline; EDOUARD, Nadège; SAUVANT, Daniel. A meta-analysis of nutrient intake, feed efficiency and performance in cattle grazing on tropical grasslands. **Animal**, 2014. v. 9, n. 6, p. 973–982. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731114003279>. Acesso em: 13 dez. 2022.

CARVALHO, Paulo Cesar de Faccio; BATELLO, Caterina. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, 2009. v. 120, n. 1–2, p. 158–162. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2008.04.012>. Acesso em: 14 jun. 2021.

COATES, D. B.; DIXON, Robert. M. Faecal near infrared reflectance spectroscopy estimates of diet quality and responses to nitrogen supplements by cattle grazing *Bothriochloa pertusa* pastures. **Australian Journal of Experimental Agriculture**. 2008. p. 829–834. Disponível em: [publish.csiro.au/an/EA08004](http://publish.csiro.au/an/EA08004). Acesso em: 17 nov. 2022.

CRUZ, Pablo *et al.* A functional classification of 63 common poaceae in the “campos” grasslands of South America. **Ecologia Austral**, 2019. v. 29, n. 2, p. 239–248. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/344454626\\_A\\_functional\\_classification\\_of\\_63\\_common\\_Poaceae\\_in\\_the\\_Campos\\_grasslands\\_of\\_South\\_America](https://www.researchgate.net/publication/344454626_A_functional_classification_of_63_common_Poaceae_in_the_Campos_grasslands_of_South_America). 21 jul. 2021.

CURTIS, L. E.; KALLENBACH, R. L. Endophyte infection level of tall fescue stockpiled for winter grazing does not alter the gain of calves nursing lactating beef cows. **Journal of Animal Science**, 2007. v. 85, n. 9, p. 2346–2353. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17504969/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

DIXON, R. M. *et al.* Diet quality, liveweight change and responses to N supplements by cattle grazing *Astrelba* spp. (Mitchell grass) pastures in the semi-arid tropics in north-western Queensland, Australia. **Rangeland Journal**, 2022. v. 44, n. 2, p. 97–113. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/rj/RJ21056>. Acesso em: 20 nov. 2022.

DIXON, R. M.; COATES, D. B. Diet quality estimated with faecal near infrared reflectance spectroscopy and responses to N supplementation by cattle grazing buffel grass pastures. **Animal Feed Science and Technology**, 2010. v. 158, n. 3–4, p. 115–125. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.04.002>. Acesso em: 20 nov. 2022.

EHLERINGER, James R.; CERLING, Thure E.; HELLIKER, Brent R. C4 photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. **Oecologia**, 1997. v. 112, p. 285–299. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s004420050311>. Acesso em: 15 ago. 2022.

GUIDO, Anaclara. *et al.* Spatial and temporal variability in aboveground net primary production of uruguayan grasslands. **Rangeland Ecology and Management**, 2014. v. 67, n. 1, p. 30–38. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742414500024>. Acesso em: 21 jul. 2021.

JAURENA, M. *et al.* Native Grasslands at the Core: A New Paradigm of Intensification for the Campos of Southern South America to Increase Economic and Environmental Sustainability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 5 mar. 2021. n. March. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.547834/full>>. Acesso em: 21 jul. 2021.

KOZLOSKI, G. V. *et al.* Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. **The Journal of Agricultural Science**, 18 ago. 2018. v. 156, n. 6, p. 855–855. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/product/identifler/S0021859618000941/type/journal\\_article](https://www.cambridge.org/core/product/identifler/S0021859618000941/type/journal_article). Acesso em: 14 nov. 2022.

LEMAIRE, Gilles; BELANGER, Gilles. Allometries in plants as drivers of forage nutritive value: A review. **Agriculture (Switzerland)**, 2019. v. 10, n. 1, p. 1–18. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/1/5>. Acesso em: 12 ago. 2020.

MAPLOGS. **Salida y Puesta del sol Tiempo de búsqueda**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://sunrise.maplogs.com/es/>. Acesso em: 9 set. 2022.

MILLOT, J. C.; RISSO, D. .; METHOL, R. **Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay**. Montevideo (Uruguay): [s.n.], 1987. Disponível em: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13475/1/SEMINARIO-CAMPO-NATURAL-1-1985.p.16-millot.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

MOORE, John E. *et al.* Effects of Supplementation on Voluntary Forage Intake, Diet Digestibility, and Animal. **Journal of Animal Science**.1999. p. 122–135. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15526787/>. Acesso em: 16 out. 2022.

MOORE, John E.; KUNKLE, Willian E.; BROWN, Willian F. Forage quality and the need for protein and energy supplements. **Florida Beef Cattle ...**, 1991. Disponível em: [https://animal.ifas.ufl.edu/beef\\_extension/bcsc/1991/pdf/moore.pdf](https://animal.ifas.ufl.edu/beef_extension/bcsc/1991/pdf/moore.pdf). Acesso em: 14 out. 2022.

NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**. Seventh Revised Edition: Update 2000. [S.l.]: [s.n.], 2000.

NÚÑEZ, Laura *et al.* What Factors Control the Crude Protein Content Variation of a Basaltic “Campos” Native Grassland of South America? **Agronomy**, 2022. v. 12, n. 8, p. 1–12. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/8/1756>. Acesso em: 12 set. 2022.

OVERBECK, Gerhard E. *et al.* Brazil’s neglected biome: The South Brazilian Campos. Perspectives in **Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 2007. v. 9, n. 2, p. 101–116. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1433831907000303>. Acesso em: 16 mai. 2021.

PEREIRA, Antonio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto.; SENTELHAS, Paulo Cesar **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agripecuária, 2002. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-de-sao-carlos/climatologia/pereira-et-al-2002-agrometeorologia-fundamentos-e-aplicacoes-praticas-ocr/37725271>. Acesso em: 22 out 2022.

SINCLAIR, Thomas R. *et al.* Photosynthetic photon flux density influences grass responses to extended photoperiod. **Environmental and Experimental Botany**, 2004. v. 51, n. 1, p. 69–74. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847203000613>. Acesso em: 04 mai. 2021.

SINCLAIR, Thomas R.; MISLEVY, Paul; RAY, Jeffery D. Short photoperiod inhibits winter growth of subtropical grasses. **Planta**, 2001. v. 213, n. 3, p. 488–491. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11506374/>. Acesso em: 24 out. 2022.

WAGNER, Ana Paula Luz *et al.* Vegetation indices variability in the Pampa grasslands in Brazil and Uruguay. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, 2018. v. 2, p. 83–92. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/agrometeoros/article/view/26364>. Acesso em: 23 abr. 2021.

WALLAU, Marcelo. *et al.* Bahiagrass (*Paspalum notatum* Flueggé): **Overview and Pasture Management**. Edis, 2019. v. 2019, n. 4, p. 10. Disponível em: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AG342>. Acesso em: 14 nov. 2021.

ZANELLA, Pablo Giliard *et al.* Grazing intensity drives plant diversity but does not affect forage production in a natural grassland dominated by the tussock-forming grass *Andropogon lateralis* Nees. **Scientific Reports**, 2021. v. 11, n. 1, p. 1–12. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96208-8>. Acesso em: 27 mai. 2022.

## Manuscrito 2

### FATORES MORFOFISIOLÓGICAS E ESTRUTURAIS QUE IMPACTAM O VALOR NUTRICIONAL DA FORRAGEM DE SEIS GRAMÍNEAS NATIVAS DA AMÉRICA DO SUL SOB DIFERIMENTO

### MORPHOPHYSIOLOGICAL AND STRUCTURAL FACTORS THAT IMPACT THE NUTRITIONAL VALUE OF FORAGE FROM SIX NATIVE GRASSES OF SOUTH AMERICA UNDER STOCKPILING

#### RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito das características morfofisiológicas, estruturais e do tempo de diferimento no valor nutricional de seis gramíneas representativas de pastagens naturais dos ecossistemas dos Campos da América do Sul nos períodos de primavera a verão e outono a inverno. Dentre as espécies estudadas, duas foram gramíneas C3 de crescimento hibernal: *Nassella neesiana* (flechilha) e *Bromus auleticus* (cevadilha crioula), e quatro gramíneas C4 de crescimento estival: *Paspalum notatum* (grama-forquilha), *Paspalum dilatatum* (capim-melador), *Andropogon lateralis* (capim-caninha) e *Mnesithea selloana* (capim cola-de-lagarto). Os períodos de diferimento foram de 450, 900, 1350, 1800 e 2250 graus-dia (°C). Foi realizada análise de componentes principais para determinar as inter-relações entre as características morfogênicas, estruturais os teores de proteína bruta (PB), energia digestível (ED), e posteriormente os modelos de regressões múltiplas foram executados utilizando o modelo de seleção Stepwise combinando todas as variáveis estudadas. De acordo com as análises de componentes principais, o valor nutricional das gramíneas foi influenciado principalmente pelos componentes estruturais (% de folhas e % de material morto), pelos tipos funcionais, e pela massa de forragem acumulada no período. A PB relacionou-se com o tempo de diferimento (°C), massa de forragem e % de folhas, enquanto a ED relacionou-se com os intervalos de diferimento, massa de forragem, e % de folhas, colmos e material morto, e relação ED:PB teve relações mais altas com massa de forragem, % de folhas, intervalos de diferimento, e com as variáveis morfogênicas tempo de vida da folha e filocrono. As maiores correlações ocorrerem no experimento de primavera a verão devido a maior produção de biomassa. Os fatores que mais influenciam nos teores de PB e ED de gramíneas nativas são o tempo de diferimento (°C), a massa de forragem e a contribuição de componentes estruturais. No geral, modelos de predição de PB tendem a ser mais precisos no período de primavera a verão em todos os grupos de gramíneas. Modelos de predição de ED em gramíneas C4 são mais ajustados na primavera a verão e de gramíneas C3, de outono a inverno.

**Palavras-chave:** Características foliares. Campo nativo. Energia. Intervalos de pastejo. Proteína bruta.

## ABSTRACT

This work was conducted with the objective of evaluating the effect of morphophysiological, structural characteristics and resting time between harvestings on the nutritional value of six grasses representative of natural grasslands of the Campos ecosystem of South America in the periods from spring to summer and autumn to winter. Among the species studied, two were cool season species C3 grasses: *Nassella neesiana* and *Bromus auleticus* and four warm season species C4 grasses: *Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum*, *Andropogon lateralis* and *Mnesithea selloana*. The stockpiling periods were 450, 900, 1350, 1800 and 2250 degree-days. Principal component analysis was performed to determine the inter-relationships between morphogenetic and structural characteristics, crude protein (CP), digestible energy (DE) and ED:CP ratio, and subsequently multiple regression models were run using the Stepwise selection model combining all studied variables. According to principal component analyses, the nutritional value of grasses was influenced mainly by structural components (% of leaves and % of dead material), by functional types, and by accumulated forage mass in the period. CP was related to stockpiling time (°C), forage mass and % leaves, while DE was related to stockpiling intervals, forage mass, and % leaves, stems and dead material, and ED:PB ratio had higher relationships with forage mass, % leaves, stockpiling intervals, and with the morphogenetic variables leaf lifespan and phyllochron. The highest correlations occurred in the experiment from spring to summer due to the greater production of biomass. Overall, CP prediction models tend to be more accurate from spring to summer in all grass groups. ED prediction models in C4 grasses are better adjusted from spring to summer and from C3 grasses, from autumn to winter.

**Key words:** Crude protein. Energy. Grasslands. Intervals between grazing. Leaf traits.

## INTRODUÇÃO

As pastagens são o principal uso da terra, tanto na América do sul como em escala global (TÖRÖK *et al.*, 2021). As formações campestres das pastagens naturais dos Campos da América do Sul são caracterizadas por uma alta diversidade florística (ANDRADE *et al.*, 2018). Nestas áreas, as gramíneas estivais ocorrem em maior proporção em relação às hibernais, principalmente na porção brasileira e uruguaia, concentrando assim a maior parte da produção de forragem no período mais quente do ano (QUADROS *et al.*, 2011). A produção forrageira das pastagens naturais é também influenciada pelo regime pluviométrico que apresenta alta variabilidade intra e interanual com ocorrência de verões secos em alguns anos (CRUZ *et al.*, 2014; GUIDO *et al.*, 2014). Nos períodos de inverno, ocorre redução no acúmulo de forragem resultando em desequilíbrio entre oferta e demanda de pasto (MILLOT; RISSO; METHOL, 1987). Neste contexto, avaliar a diversidade das pastagens é um ponto chave para superar as limitações na variabilidade forrageira tornando assim o sistema mais produtivo e sustentável.

Existem diversas estratégias de manejo que podem ser utilizadas a fim de aumentar o potencial produtivo das pastagens naturais do ecossistema Campos. Dentre as técnicas

conhecidas, o diferimento do pasto é uma prática de manejo que busca contornar esses períodos de escassez de alimentos decorrentes da sazonalidade produtiva destas áreas (ALLEN *et al.*, 2011). Especificamente, o diferimento é o processo de acúmulo da forragem no final da estação de crescimento para ser utilizado posteriormente. No entanto, uma boa produção de forragem não garante por si só a maximização do potencial produtivo de uma pastagem, visto que nessas situações ocorre uma relação inversa entre quantidade e a qualidade da forragem produzida. A medida que o estágio fenológico avança e a biomassa produzida aumenta, e o valor nutricional da forragem tende a diminuir, devido principalmente ao aumento de colmos e material senescente (LEMAIRE; BELANGER, 2019). Portanto, é preciso compreender as relações entre o acúmulo de forragem e redução no valor nutricional das gramíneas forrageiras nativas para uma melhor aplicação das práticas do diferimento (FEDRIGO *et al.*, 2021).

Estudos em gramíneas cultivadas demonstraram que o valor nutricional está relacionado a fatores que vão além da quantidade de forragem acumulada, como comprimento de lâmina foliar (AGNUSDEI *et al.*, 2012; INSUA *et al.*, 2017), a proporção de forragem verde na biomassa total (CHACON; STOBBS; SANDLAND, 1976), a proporção de tecidos metabólicos e estruturais (CALOIN; YU, 1984; LEMAIRES ; BELANGER, 2019) e os atributos funcionais quantitativos como o conteúdo de matéria seca em folhas verdes e a área foliar específica, os quais tem relação com a qualidade da forragem (AL HAJ KHALED *et al.* 2006).

Em pastagens naturais, Azambuja Filho *et al.* (2020) citam a composição botânica e de grupos funcionais como determinantes do valor nutricional da forragem. Estudos recentes, principalmente em gramíneas cultivadas fazem o uso de modelos de predição que utilizam fatores relacionados a estrutura, características morfogênicas e fisiológicas para determinar as mudanças no valor nutricional das plantas (INSUA *et al.*, 2019). No entanto, em pastagens nativas essas informações ainda são muito escassas, devido à diversidade de espécies, com diferentes características de crescimento.

O conhecimento dos principais fatores que influenciam na perda do valor nutricional das gramíneas nativas com o acúmulo da forragem do período de diferimento é de grande importância na busca de ferramentas que possibilitem o aumento do potencial produtivo destas áreas. No nosso conhecimento não existem informações do impacto da proporção de componentes estruturais, tipos funcionais e da composição de espécies e de atributos morfofisiológicos que expliquem como ocorre a variação da proteína bruta e da digestibilidade da forragem à medida que se incrementa o período de diferimento. Portanto, este trabalho tem como objetivo propor modelos matemáticos que permitam estimar os impactos dos principais fatores morfológicos, estruturais do tempo de diferimento no valor nutricional de seis

gramíneas representativas das principais comunidades vegetais das pastagens naturais do ecossistema Campos da América do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na cidade de Tacuarembó, na Estação Experimental do Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA Tacuarembó). A área experimental está localizada a 31°44'18,5" Sul e 55°58'47,9" Oeste, segundo a classificação de Köppen o clima é subtropical úmido (Cfa), a temperatura varia entre 11,5° C e 25°C, com média anual de 17,9°C, e a precipitação média anual é de 1280 mm (BEMHAJA; ANTUNEZ, 2000).

O estudo foi dividido em experimentos conduzidos ao ar livre em duas épocas do ano que antecedem os períodos mais críticos para a produção forrageira em pastagens naturais dos ecossistemas campestres da América do Sul. O experimento 1 foi realizado no período de primavera a verão, de 8 de novembro de 2019 a 14 de fevereiro de 2020, e o experimento 2 de outono a inverno, ocorreu entre 25 de março de 2020 a 20 de agosto de 2020.

Foram utilizadas plantas originárias de propágulos vegetativos coletados a campo e implantadas em uma superfície central de 20 cm de diâmetro em vasos de 12 litros, com diâmetro superior de 30 cm e inferior de 21cm. O estudo foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial considerando a interação entre cinco intervalos de diferimento, seis espécies de gramíneas nativas, e seis repetições por espécie em cada tratamento, onde as unidades experimentais foram os vasos (6 espécies × 5 intervalos de diferimento × 6 repetições por espécie em cada tratamento), totalizando 180 unidades.

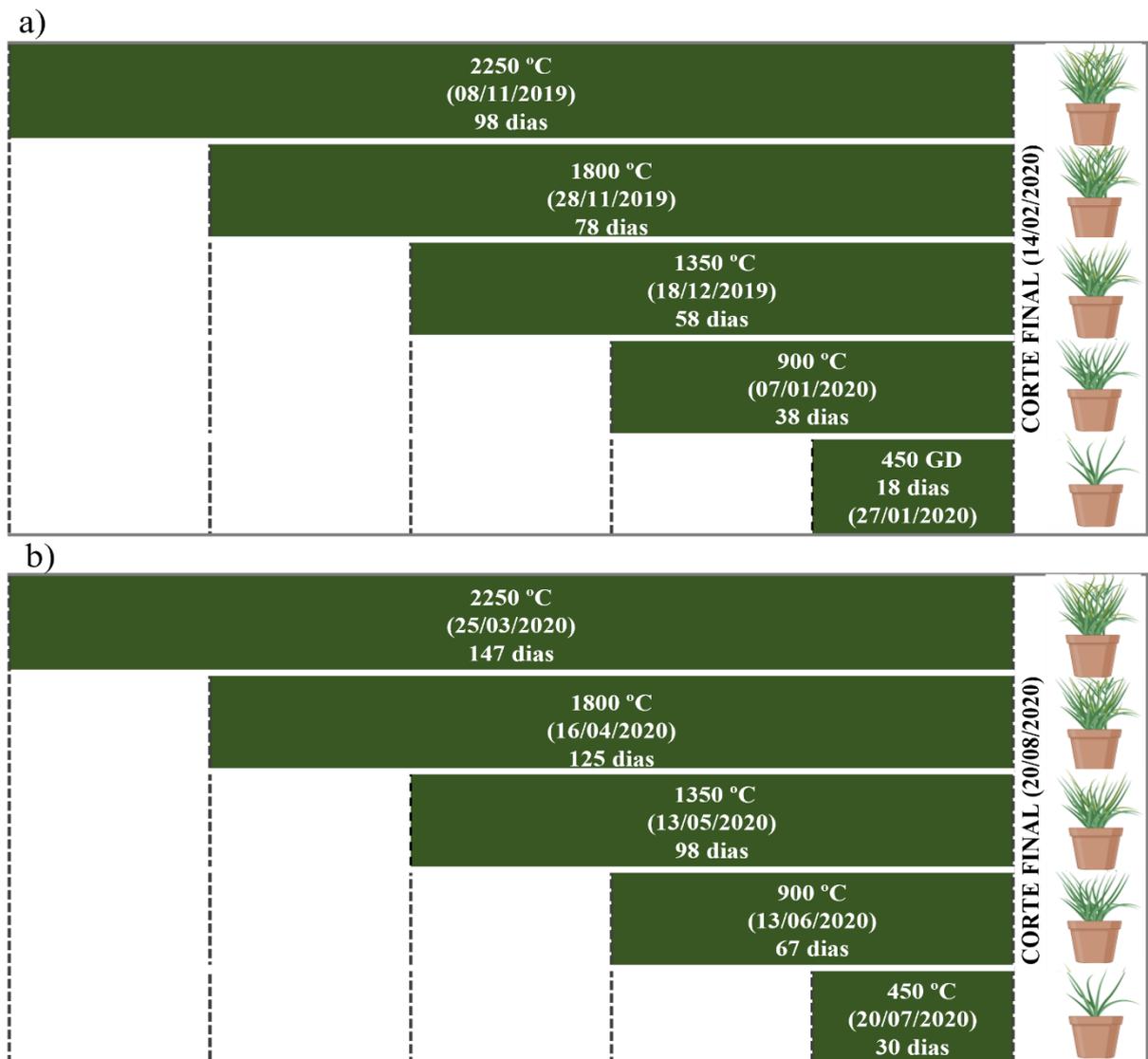
Foram avaliadas seis espécies de gramíneas nativas representativas de distintos grupos funcionais (CRUZ *et al.*, 2019), dos quais, quatro foram espécies C<sub>4</sub> (*Paspalum notatum* (grama-forquilha), *Paspalum dilatatum* (capim-melador), *Andropogon lateralis* (capim-caninha) e *Mnesithea selloana* (capim cola-de-lagarto)) e duas espécies, C<sub>3</sub> (*Nassella neesiana* (flechilha) e *Bromus auleticus* (cevadilha crioula)). As amostras de *P. dilatatum* são de ecotipos pentaploides, e *P. notatum* de ecotipo diploide, ambos coletadas em uma área de solo arenoso. Nessa mesma região foram coletadas as amostras de *A. lateralis*, *M. selloana* e *B. auleticus*, dos quais não foi possível identificar o ecotipo. *N. neesiana*, foi coletada em uma área de solo com formação de basalto.

O substrato utilizado para o cultivo das plantas possuía as seguintes características: pH : 5,8, Carbono orgânico: 5,5%, fósforo Bray: 38 ppm, potássio 0,46 meq/100 g, cálcio: 16,6 meq/100 g. Para garantir condições não limitantes ao crescimento das plantas, imediatamente

após cada corte, em todos os tratamentos, as plantas foram fertilizadas com uma dose de 2,2 g de ureia e 1,4 g de adubo 7:40:0 (NPK), o que equivale a 40 kg de N/ha e 10 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Além disso, ao longo de todo o experimento, foram aplicadas irrigações diárias de aproximadamente um litro de água por vaso, mantendo um nível mínimo de 50% de disponibilidade de água no solo.

Os tratamentos foram cinco intervalos de diferimento baseados na soma térmica (i.e.graus (G)):450, 900, 1350, 1800 ou 2250. No início dos experimentos todas as plantas foram cortadas, e a cada 450 °C um novo tratamento era iniciado (Figura 1 a e b). A soma térmica (em °C) foi calculada a partir da soma da temperatura média acima de zero de cada dia.

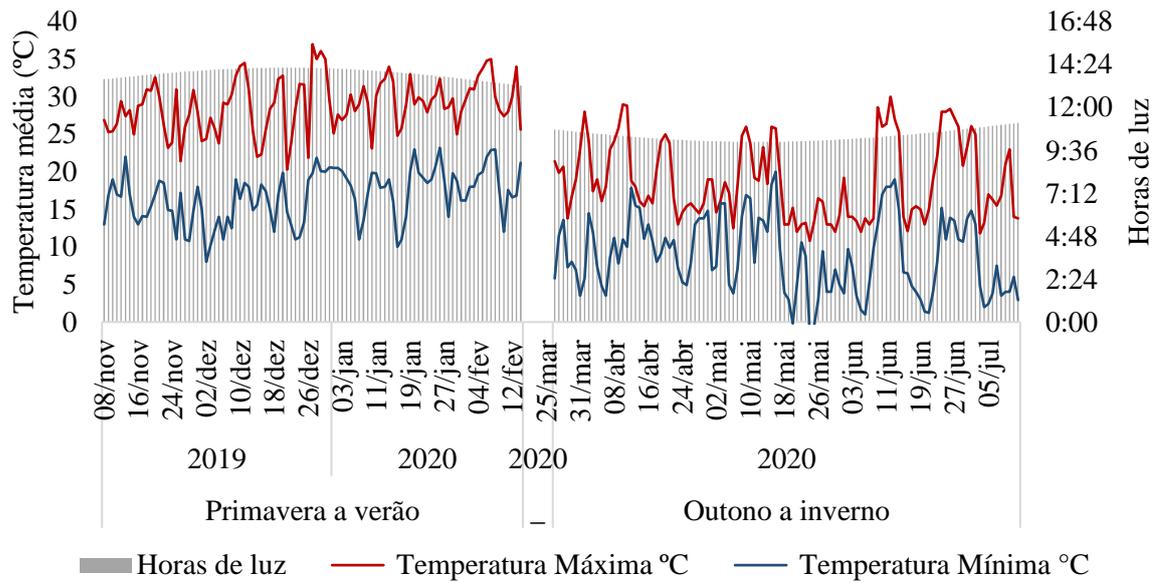
Figura 1- Intervalos de diferimento, datas de início de cada diferimento e número de dias de diferimento nos experimentos de primavera a verão (a) e outono a inverno (b).



Linhas tracejadas representam os cortes realizados; as áreas claras representam os períodos antes do início do acúmulo térmico de cada tratamento; e as áreas escuras representam período acumulado em cada.

Os dados de temperatura diária precipitação foram coletados diariamente no banco de dados agroclimáticos da estação meteorológica do INIA Tacuarembó. O número diário de horas de luz foi obtido na página (MAPLOGS, 2022) (Figura 2).

Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas diárias, e horas de luz diárias dos experimentos 1 e 2.



### *Parâmetros avaliados*

As avaliações morfogênicas foram realizadas nos últimos 900 °C de experimento, nos tratamentos de 900, 1350, 1800 e 2250 °C. Para determinação das variáveis foi utilizada a técnica de “perfilhos marcados, descrita por (CARRERE; LOUAULT; SOUSSANA, 1997). Em cada unidade experimental foram identificados três perfilhos com fios coloridos, somando 18 por espécie em cada tratamento, totalizando 432 perfilhos avaliados. As avaliações foram realizadas duas vezes por semanas (segunda e quinta-feira), e em cada avaliação foi contado o número de folhas em cada perfilho, e descrito o estado de cada folha como: folha em expansão, completamente expandida (após o aparecimento da lígula), senescendo e morta. A partir dos dados obtidos foram calculadas a taxa de aparecimento de folhas (TAF), filocrono, duração da alongação foliar (DEF) e tempo de vida da folha (TVF). A TAF (folhas/°C) foi calculada dividindo o número de folhas surgidas por vez (1) pelo acúmulo térmico entre a aparição de duas folhas consecutivas. O filocrono, em °C, foi calculado como o valor inverso da TAF. A DEF, em °C, por sua vez, foi obtida através do produto entre o filocrono e o número de folhas

em expansão, e o TVF, em °C, pelo produto entre o filocrono e o número de folhas vivas por perfilho.

No experimento de primavera a verão foram realizadas as avaliações dos atributos foliares, área foliar específica (AFE, m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>) e teor de matéria seca (TMS, g.kg<sup>-1</sup>) que foram medidas ao de cada tratamento na última folha completamente expandida de cada perfilho, em três perfilhos por vaso, em todas as unidades experimentais. As lâminas foliares foram coletadas, reidratadas por 12h, e posteriormente pesadas em uma balança de precisão. Foi tomada a largura e comprimento de cada folha, com o auxílio de uma régua, e área foliar foi medida através do scanner Leaf Area Meter (CI-202 CID, Scanman, Logitech, Newark, California, USA). Posteriormente, as amostras foram levadas à uma estufa com circulação de ar forçado a 60°C até atingirem peso constante, e novamente pesadas para determinação do peso seco. O TMS foi obtido dividindo-se o peso verde pelo peso seco e multiplicando por 1000. A AFE foi obtida dividindo-se a área foliar pelo peso seco da folha.

Os valores de massa de forragem acumulada (MF), % de folhas verdes, % de colmos, % de bainhas e % de material morto (MM), bem como os teores de proteína bruta (PB) e energia digestível (ED), foram resultantes de avaliações realizadas nas mesmas plantas utilizadas no presente estudo e são descritas por Marin (não publicado).

#### *Análises estatísticas*

A normalidade da distribuição dos resíduos de todas as variáveis estruturais e morfológicas foi testada considerando distribuição normal a um P <0,005. As variáveis TVF e % MM apresentaram distribuição não normal e foram transformadas pelo logaritmo e raiz quadrada, respectivamente.

Foi realizada a análise de variância dos atributos funcionais e características morfológicas utilizando o comando PROC GLM no SAS. Quando detectadas diferenças significativas, o comando PDIFF foi utilizado para separar as médias dos tratamentos com um intervalo de confiança de 95% no teste de Tukey.

O modelo matemático referente à análise das variáveis estudadas foi representado por:

$$Y_{ij} = \mu + I_i + E_j + (TE)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Pelo modelo, Y<sub>ij</sub> representa as variáveis dependentes; μ é a média de todas as observações; I<sub>i</sub> corresponde ao efeito dos intervalos de diferimento; E<sub>j</sub> corresponde ao efeito das espécies; (IE)<sub>ij</sub> representa a interação entre os tratamentos e espécies; ε<sub>ij</sub> corresponde ao erro experimental residual.

As inter-relações entre as variáveis produtivas, estruturais, morfogênicas e nutricionais de gramíneas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> nos experimentos de primavera a verão e outono a inverno foram analisadas através da análise de componentes principais utilizando o software R. Os modelos de regressões múltiplas foram utilizados para avaliar os efeitos dos parâmetros estudados nas variáveis PB e ED nos períodos de primavera a verão e outono a inverno mediante o modelo de seleção Stepwise do software SAS combinando todas as variáveis possíveis (tempo térmico (°C), MF acumulada, % folhas, % colmos, % bainhas e % MM, tempo de vida da folha, filocrono, duração de alongação foliar e taxa de aparecimento foliar). O critério de seleção dos modelos de regressões múltiplas foi de uma variável para cada 20 repetições de forma que fossem incluídas no máximo duas variáveis em cada modelo, e apenas variáveis com nível de significância <0,005 foram consideradas.

## RESULTADOS

Os atributos foliares das gramíneas estudadas no período de primavera a verão (TMS e AFE) foram influenciadas pelos intervalos de diferimento e pelas espécies estudadas (Tabela 1). Não foi observada interação tratamento × espécie (T×E) significativa para estas variáveis. O TMS de folhas de gramíneas submetidas ao período de diferimento de 450 °C foi inferior aos demais períodos (P=0,001). Quando comparadas as espécies estudadas, *N. neesiana* apresentou os maiores valores (P<0,001).

A AFE foi decrescente com o aumento dos tratamentos (P=0,012). As espécies avaliadas apresentaram diferenças na AFE (P<0,001), dos quais, as duas espécies do gênero *Paspalum* apresentaram os maiores valores de AFE, enquanto os menores valores foram observados nas gramíneas hibernais *N. neesiana* e *B. auleticus*.

Tabela 1 – Atributos foliares de gramíneas nativas da América do Sul submetidas à distintos períodos de diferimento na primavera-verão.

<b>Tratamento (T)</b>	<b>TMS (g kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>AFE (m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>)</b>
450 °C	284b	18,7a
900 °C	320a	17,3ab
1350 °C	333a	18,0b
1800 °C	338a	15,5bc
2250 °C	339a	14,7c
<b>Espécie (E)</b>		
<i>A. lateralis</i>	335bc	15,3c
<i>B. auleticus</i>	314cd	12,1d
<i>M. Selloana</i>	342b	17,9b
<i>N. neesiana</i>	374a	13,2cd
<i>P. dilatatum</i>	279e	22,5a
<i>P. notatum</i>	292de	20,1ab
<i>Probabilidade</i>		
T	0,002	0,012
E	<0,001	<0,001
Interação T*E	0,699	0,690

Nenhuma das características morfogênicas apresentou diferenças entre os tempos de diferimentos avaliados, em ambos os experimentos ( $P > 0,05$ ). Foram observadas diferenças significativas entre as espécies em ambos os experimentos avaliados (Tabela 2). No experimento de primavera a verão as maiores TAF ( $P < 0,001$ ) ocorrerem em perfilhos de *P. notatum* e *M. selloana* e a menor foi observada em perfilhos de *B. auleticus*. O maior filocrono ocorreu em *B. auleticus* e os menores em *P. notatum* e *M. selloana* ( $P < 0,001$ ) (Tabela 2). As DEF mais longas ocorreram em *P. notatum* e *B. auleticus* que foram significativamente maiores que as demais espécies. A espécie com a maior TVF foi *A. lateralis*, enquanto a de menor foi *P. dilatatum*.

Tabela 2 – Características morfogênicas em diferentes gramíneas nativas da América do Sul submetidas à distintos períodos de diferimento de primavera a verão e outono a inverno.

Experimento	Espécie	TAF (folhas.°C <sup>-1</sup> )	Filocrono (°C)	DEF (°C)	TVF (°C)
(1) Primavera verão	<i>A. lateralis</i>	0,0040 <sup>cd</sup>	245 <sup>bc</sup>	311 <sup>c</sup>	946 <sup>a</sup>
	<i>B. auleticus</i>	0,0033 <sup>d</sup>	306 <sup>a</sup>	489 <sup>a</sup>	777 <sup>ab</sup>
	<i>M. Selloana</i>	0,0067 <sup>a</sup>	149 <sup>d</sup>	280 <sup>c</sup>	668 <sup>b</sup>
	<i>N. neesiana</i>	0,0034 <sup>cd</sup>	287 <sup>ab</sup>	361 <sup>bc</sup>	693 <sup>b</sup>
	<i>P. dilatatum</i>	0,0046 <sup>bc</sup>	222 <sup>bc</sup>	275 <sup>c</sup>	578 <sup>b</sup>
	<i>P. notatum</i>	0,0056 <sup>ab</sup>	178 <sup>cd</sup>	468 <sup>ab</sup>	789 <sup>ab</sup>
	<b>Probabilidade</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,053</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,003</b>
(2) Outono inverno	<i>A. lateralis</i>	0,0030	345	606 <sup>ab</sup>	964 <sup>a</sup>
	<i>B. auleticus</i>	0,0029	342	519 <sup>bc</sup>	766 <sup>ab</sup>
	<i>M. Selloana</i>	0,0041	245	466 <sup>cd</sup>	775 <sup>ab</sup>
	<i>N. neesiana</i>	0,0035	286	341 <sup>d</sup>	647 <sup>b</sup>
	<i>P. dilatatum</i>	0,0039	255	388 <sup>cd</sup>	584 <sup>b</sup>
	<i>P. notatum</i>	0,0039	253	678 <sup>a</sup>	799 <sup>ab</sup>
	<b>Probabilidade</b>	<b>0,104</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,005</b>

TAF = tempo de aparecimento da folha; DEF= duração da elongação foliar; TVF= tempo de vida da folha; °C= graus dia.

No diferimento de outono a inverno tanto a TAF quanto o filocrono não apresentaram diferenças entre as espécies. Por sua vez, *P. notatum* e *A. lateralis* apresentaram a maior DEF, e *N. neesiana* e *P. dilatatum* a menor DEF. Assim como no experimento de primavera a verão o maior TVF ocorreu em *A. lateralis* e o menor em *P. dilatatum*.

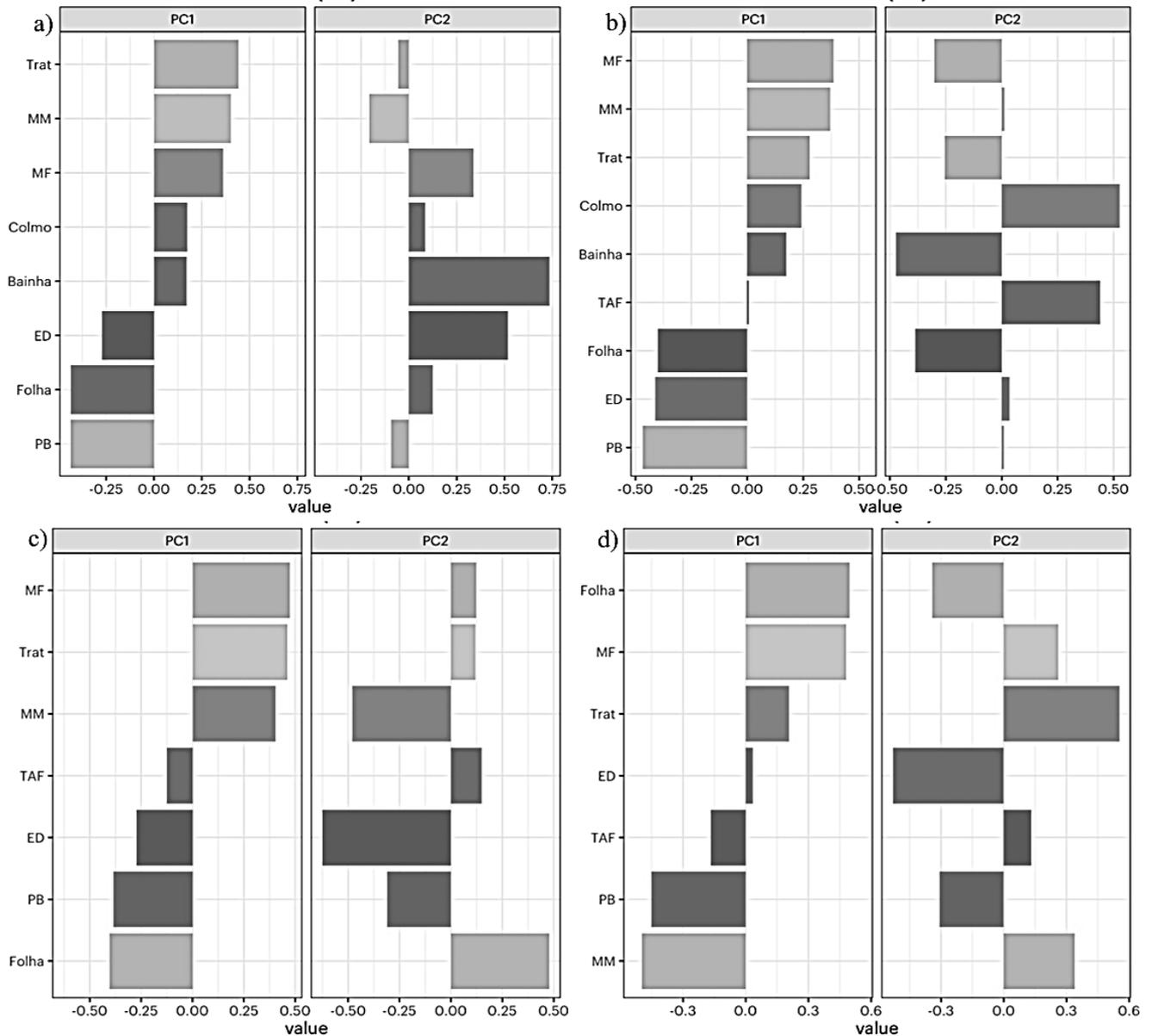
Em todas as análises de componentes principais, a variabilidade dos dados foi explicada principalmente nos dois primeiros eixos dos primeiros componentes (PC 1 e PC2) que apresentaram pelo menos 64% da variação total (Figura 2). A análise selecionou as variáveis com maiores relações com os eixos, que estão demonstradas pelas barras de cada figura. O posicionamento das barras em relação à CP1 e CP2 demonstra a contribuição de cada variável para a definição do valor de cada componente.

A contribuição de cada uma das variáveis na variância dos componentes principais no experimento de diferimento de primavera a verão em gramíneas C3 (Figura 3a) demonstra uma

relação positiva da porcentagem de folhas verdes e negativa com o tempo de duração do diferimento (°C) com o nível de proteína bruta da forragem. A energia bruta mostrou um comportamento similar no PC1 e uma correlação positiva com o percentual de bainhas no PC2. Em gramíneas C4 (Figura 3b) ainda foi observada uma relação positiva da % de folhas, e negativa da duração do diferimento (°C), com o nível de proteína bruta da forragem. Contudo, a energia digestível apresentou um comportamento semelhante ao da proteína com PC1 e não houve correlações significativas no PC2.

No experimento de diferimento de outono a inverno (Figura 3c), as relações das variáveis de gramíneas C<sub>3</sub> com o PC1 seguiram padrão semelhante ao observado nas gramíneas C<sub>3</sub> do experimento de primavera a verão. Contudo, no PC2 observou-se uma relação inversa entre a porcentagem de folhas verdes e a ED da forragem. Por outro lado, nesse mesmo período as variáveis relacionadas ao PC1 nas espécies C<sub>4</sub> tiveram um comportamento diferente do observado no diferimento de primavera a inverno (Figura 3 d), no qual a porcentagem de folhas verdes foi inversamente relacionada com a PB, enquanto a porcentagem de MM foi diretamente relacionada. No PC 2 observou-se uma relação positiva da porcentagem de folhas verdes e negativa com tempo de diferimento com a ED da forragem.

Figura 3 – Contribuição das variáveis estudadas na variância dos componentes principais (PC).



Variância dos dados: gramíneas C3: a) em experimentos de primavera a verão (PC1=55%; PC2=15%) e c) de outono a inverno (PC1= 56%; PC2=20%). gramíneas C4 nos experimentos de diferimento: b) de primavera a verão (PC1=40%; PC2= 24%) e d) de outono a inverno (PC1=40%; PC2 =30%); MF= massa de forragem; Trat= intervalos de diferimento (°C); MM= % de material morto; TAF= taxa de aparecimento foliar; ED= energia digestível; PB= proteína bruta; Folha= % de folhas.

Em geral, o melhor ajuste dos modelos de regressões múltiplas ocorreu quando as espécies foram agrupadas em espécies C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> de conservação e C<sub>4</sub> de captura, seguindo a lógica do agrupamento funcional proposto por Quadros *et al.*, (2006). No período de diferimento de primavera a verão, todas as equações de predição de PB apresentaram um R<sup>2</sup> do modelo acima de 0,7. A PB de gramíneas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> de captura foi relacionada de forma negativa com o tempo de duração do diferimento (°C) e com a massa de forragem (Tabela 3). Enquanto, as gramíneas

C4 de conservação também apresentaram relação negativa com a massa de forragem e positiva com a porcentagem de folhas verdes. No período de outono a inverno, os modelos de PB se relacionaram de forma negativa com massa de forragem, no entanto em nenhum dos modelos o coeficiente chegou a 0,7.

Tabela 3- Modelos de regressões múltiplas para estimativa do teor de proteína bruta (PB), energia digestível (ED) nos períodos de primavera a verão e outono a inverno em três grupos de gramíneas dominantes das pastagens naturais da América do Sul.

Variável	Grupo	RMSE	R <sup>2</sup> aj	N <sup>o</sup>	Modelo	
Primavera a verão						
PB	C3	1,44	0,79	45	PB(%)=22,4+(0,0028*°C)+(-0,0536*MF)	
	C4 Captura	1,42	0,75	43	PB(%)=12,4+(0,0012*°C)+(-0,0330*MF)	
	C4 Conservação	1,04	0,72	43	PB(%)=8,6+(-0,0382*MF)+(0,0563*% Folhas)	
	Outono a inverno					
	C3	1,4	0,60	42	PB(%)=22,2+(-0,256*MF)	
	C4 Captura	1,1	0,68	29	PB(%)=19,2+(-0,264*MF)	
C4 Conservação	1,4	0,52	29	PB(%)=19,4+(-0,173*MF)		
Primavera a verão						
ED	C3	78,3	0,50	45	ED=2866+(-0,184*°C)+(3,487*MF)	
	C4 Captura	96,1	0,63	41	ED=1998+(9,35*% Folhas)+(6,01*% Colmos)	
	C4 Conservação	103,3	0,47	46	ED=2761+(-0,153*°C)+(2,40*% Folhas)	
	Outono a inverno					
	C3	127,1	0,67	42	ED=3990+(-28,32*MF)+(-10,76*% Folhas)	
	C4 Captura				<i>Não significativo</i>	
C4 Conservação	178,9	0,36	29	ED=2516+(-6,147*% MM)		

RMSE =Raiz quadrada do erro-médio; N<sup>o</sup>= Número de amostras de cada variável que foram utilizadas no modelo; °C= tempo térmico em graus – dia; MF= massa de forragem; MM= material morto.

Os modelos de ED em ambos os períodos apresentaram um menor ajuste, com coeficientes R<sup>2</sup> inferiores a 0,7 (Figura 3). No período de primavera a verão a ED de gramíneas C3 relacionou-se negativamente com o tempo de diferimento (°C) e positivamente com a massa de forragem. Por outro lado, em gramíneas C4 de captura, a ED relacionou-se diretamente com as porcentagens de folhas e colmos, enquanto em espécies C4 de conservação a ED relacionou-se negativamente com tempo térmico e positivamente com a porcentagem de folhas verdes. Enquanto, no período de outono a inverno a MF foi a característica que impactou negativamente na ED e a porcentagem de folhas verdes de forma positiva. Em C4 de captura a equação não foi significativa (P>0,005). Em gramíneas C4 de conservação, o modelo apresentou que a porcentagem de material senescente se relacionou negativamente com a ED, no entanto com um R<sup>2</sup> de 0,36.

## DISCUSSÃO

Os atributos foliares foram utilizados para agrupar as espécies conforme suas características foliares, com o propósito de simplificar as análises, assim como foi proposto por Quadros, Trindade e Borba (2009) confirmando que o teor de material seco é uma característica muito mais estável para comparar diferentes espécies. Os valores observados de teor de matéria seca no presente estudo foram próximos dos descritos por (CRUZ *et al.*, 2019), que enquadra *A. lateralis* e *M. selloana* como espécies C<sub>4</sub> do grupo funcional “C”, ou seja, de conservação, *P dilatatum* e *P notatum* nos grupos “A” e “B”, como capturadoras de recursos, e *B. auleticus* e *N. neesiana* nos grupos C e D de gramíneas C<sub>3</sub>. Os atributos foliares não se relacionaram com a PB e a ED, portanto nesse estudo os atributos foliares foram utilizados apenas como critérios para a formação dos grupos de gramíneas estudadas.

Nenhuma das características morfogênicas apresentou diferenças entre os tempos de diferimentos avaliados, em ambos os experimentos. No entanto foram observadas diferenças entre as espécies estudadas, onde a alta TAF em *M. selloana* pode estar relacionada a entrada no período reprodutivo quando ocorre o aparecimento mais rápido de novas folhas antes da emissão das inflorescências. Esse comportamento foi descrito por (SANTOS *et al.*, 2009) em perfilhos de braquiária submetidos a diferimentos. As TAF mais altas observadas nas duas espécies de *Paspalum* vão de encontro com Quadros, Trindade e Borba (2009) que descrevem como características de gramíneas de captura de recursos uma emissão mais frequente de novas folhas porém de menor comprimento.

O intervalo entre o aparecimento de uma folha e o início da senescência expressado com TVF é uma característica com potencial relação com o valor nutricional da forragem (KHALED *et al.*, 2006). Neste experimento a espécie com maior TVF foi *A. lateralis* o que indicaria uma menor perda de qualidade foliar com o incremento do tempo de diferimento, enquanto a menor TVF foi em *P. dilatatum*, portanto, essa espécie tende a apresentar redução no valor nutricional em diferimentos longos. Apesar dessas diferenças, os fatores morfogênicos tiveram relação muito baixa ou nenhuma com os conteúdos de PB e ED.

Os modelos selecionados demonstraram que os principais fatores relacionados ao teor de PB e ED são o tempo de diferimento relacionado com a massa de forragem produzida, e os componentes estruturais da forragem, o que tem relação direta com o comportamento descrito por Lemaire e Belanger (2019) que citam a diluição do valor nutricional com o aumento da produção de forragem. No experimento esperava-se maior influência das características

morfogênicas, no entanto, isso não aconteceu visto que não houve variação nessas características ao longo dos períodos de diferimento estudados.

Insua *et al.* (2019) desenvolveu um modelo de predição para festuca (*Lolium arundinaceum*) considerando os efeitos de variáveis morfogênicas (TAF, DEF e TVF), além da idade e comprimento da folha que apresentou um forte ajuste para a estimativa da digestibilidade do pasto durante o período de rebrote, demonstrando que características foliares como idade e comprimento podem ser variáveis a serem consideradas na construção de modelos de predição do valor nutricional em outras espécies.

Em nossos experimentos, as análises evidenciam um melhor ajuste dos modelos no período de primavera a verão. Como demonstrado por Marin (não publicado), em geral a variação, principalmente na % de PB foi maior nesse período que no período de outono inverno. Por outro lado, a ED foi menos estável no período de outono a inverno, no entanto, pode ter sido mais influenciada pelos fatores ambientais como baixas temperaturas (Figura 1).

A redução no valor nutricional de lâminas foliares com o aumento da MF, e a velocidade em que essa redução ocorre depende da espécie, das condições ambientais e das mudanças no ritmo de crescimento das plantas (INSUA *et al.*, 2019). Desta forma, o tempo de diferimento, bem como a estrutura do pasto não são os únicos determinantes da variação dos teores de ED e PB devendo-se levar em conta os fatores aleatórios que interferem nos resultados que possivelmente tornariam os modelos de predição mais robustos.

Condições climáticas como temperatura, tempo diário de luz e ocorrências de geadas no período de inverno também podem ter influenciado no valor nutricional das gramíneas estudadas. Além disso, no período de outono a inverno não foram consideradas as temperaturas base de crescimento das espécies avaliadas, no cálculo de tempo de diferimento (em °C), que são em torno de 8,5°C para gramíneas C<sub>4</sub> e 4°C para gramíneas C<sub>3</sub> (LEMAIRE; BELANGER, 2019), isso explica porque o tratamento não foi selecionado nas equações de PB. Em alguns momentos no período de inverno a temperatura média diária foi muito próxima a temperatura base de crescimento das gramíneas, e ao não dispor da temperatura base, o crescimento invernal foi muito baixo em comparação com primavera verão.

O número de repetições em cada grupo impossibilitou o uso de um maior número de variáveis nas equações visto que se priorizou a inclusão de uma variável para cada 20 repetições. Em condições em que há um maior número de repetições dentro de um grupo amostral, seria possível a inclusão de mais variáveis, tornando o modelo mais bem ajustado. Além disso, para obter-se valores mais confiáveis da relação entre o valor nutricional e as

características morfogênicas e estruturais, devem ser realizados estudos em uma grande variedade de condições de crescimento das plantas (INSUA; AGNUSDEI; DI MARCO, 2017).

## **CONCLUSÃO**

Os principais fatores relacionados ao valor nutricional de gramíneas nativas são o tempo de diferimento, a massa de forragem e os componentes estruturais. No geral, modelos de predição de PB tendem a ser mais precisos no período de primavera a verão em todos os grupos de gramíneas estudadas. Modelos de predição de ED em gramíneas C<sub>4</sub> são mais ajustados na primavera a verão e de gramíneas C<sub>3</sub>, de outono a inverno.

## REFERÊNCIAS

AGNUSDEI, M. G. *et al.* Leaf blade nutritional quality of rhodes grass ( *Chloris gayana* ) as affected by leaf age and length Leaf blade nutritional quality of rhodes grass ( *Chloris gayana* ) as affected by leaf age and length. **Crop & Pasture Science**, [s. l.], v. 62, 2012. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/cp/cp11164>. Acesso em: 21 jun. 2021.

ALLEN, Vivien G. *et al.* An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, 2011. v. 66, n. 1, p. 2–28. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>. Acesso em: 22 ago. 2021.

AL HAJ KHALED Raouda, *et al.* Using Leaf Traits to Rank Native Grasses According to Their Nutritive Value. **Rangeland Ecology & Management**. 2006. v 59.p 648-654. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1550742406500727>. Acesso em: 13 jun. 2021.

ANDRADE, Bianca Ott. *et al.* Vascular plant species richness and distribution in the Río de la Plata grasslands. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2018. v. 188, n. 3, p. 250–256. Disponível em: s. Acesso em: 12 jul. 2021.

AOAC. Official Methods of Aanalysis. Maryland, USA: **AOAC International**, 2005.

AZAMBUJA FILHO, Julio César Rebés *et al.* Functional Classification of Feed Items in Pampa Grassland, Based on Their Near-Infrared Spectrum. **Rangeland Ecology & Management**, [s. l.], v. 73, n. 3, p. 358–367, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1550742420300130>. Acesso em: 23 set. 2022.

BEMHAJA, María, ANTUNEZ, Juan. Estacion meteorologica glencoe: lluvia, evaporacion y temperaturas maximas y minimas promedio: 1999-2000. **Jornada U.E. "Glencoe"**, 2000. NIA Tacuarembó. Disponível em: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/9119/1/SAD-239p11-12.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2020.

CALOIN, M.; YU, O. Analysis of the Time Course of Change in Nitrogen Content in *Dactylis glomerata* L . Using a Model of Plant Growth. **Annals of Botany Company**, [s. l.], v. 54, p. 69–76, 1984. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/42756979>. Acesso em: 25 mai. 2020.

CARRÈRE, P.; LOUAULT, F.; SOUSSANA, J.F. Tissue turnover within grass-clover mixed swards grazed by sheep. Methodology for calculating growth, senescence and intake fluxes. **Journal of Applied Ecology**, v.34, p.333-348, 1997. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2404880>. Acesso em: 25 set. 2021.

CHACON, E.; STOBBS, T. H.; SANDLAND, R. L. Estimation of herbage consumption by grazing cattle using measurements of eating behaviour. **Grass and Forage Science**, [s. l.], v. 31, n. 2, p. 81–87, 1976. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2494.1976.tb01122.x> . Acesso em: 20 out. 2022.

CRUZ, Pablo. *et al.* A functional classification of 63 common poaceae in the “campos” grasslands of South America. **Ecologia Austral**, v. 29, n. 2, p. 239–248, 2019. Disponível em: [https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia\\_Austral/article/view/727](https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/727).

CRUZ, Gabriela. *et al.* Análisis de sequías agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. **Agrociencia Uruguay**, v 18, n1,p. 126–132, 2014. Disponível em: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482014000100013&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482014000100013&script=sci_abstract&tlng=es). Acesso em: 13 set. 2021.

GUIDO, Anaclara. *et al.* Spatial and temporal variability in aboveground net primary production of uruguayan grasslands. **Rangeland Ecology and Management**, 2014. v. 67, n. 1, p. 30–38. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1550742414500024>. Acesso em: 21 jul. 2021.

INSUA, Juan Ramón *et al.* Modeling the nutritive value of defoliated tall fescue pastures based on leaf morphogenesis. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 111, n. 2, p. 714–724, 2019. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2018.07.0439>.

INSUA, Juan Ramón; AGNUSDEI, M. G.; DI MARCO, O. N. Leaf morphogenesis influences nutritive-value dynamics of tall fescue (*Lolium arundinaceum*) cultivars of different leaf softness. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 1, p. 51–61, 2017. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/CP/CP16254>. Acesso em: 10 abr. 2020.

KOZLOSKI, Gilberto. Vilmar. *et al.* Faecal N excretion as an approach for estimating organic matter intake by free-ranging sheep and cattle. **Journal of Agricultural Science**, v. 156, n. 6, p. 855, 2018. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/faecal-n-excretion-as-an-approach-for-estimating-organic-matter-intake-by-freeranging-sheep-and-cattle/CBAC6BFADAB02E46896A8EF7E793FAA7>. Acesso em: 14 nov. 2022.

LEMAIRE, Gilles; BELANGER, Gilles. Allometries in Plants as Drivers of Forage Nutritive Value : A Review. **Agriculture**, v. 10, p. 1–18, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/10/1/5>. Acesso em: 12 ago. 2020.

MAPLOGS. **Salida y Puesta del sol Tiempo de búsqueda**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://sunrise.maplogs.com/es/>. Acesso em: 9 set. 2022.

MARIN, Luciana. **Efeito da duração e época de diferimento na produção de forragem e valor nutricional de seis espécies de gramíneas nativas da américa do sul**. Não publicado.

MILLOT, J. C.; RISSO, D. .; METHOL, R. **Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay**. Montevideo (Uruguay): [s.n.], 1987. Disponível em: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13475/1/SEMINARIO-CAMPO-NATURAL-1-1985.p.16-millot.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

QUADROS, Fenando Luiz Ferreira de *et al.* Utilizando a racionalidade de atributos morfogênicos para o pastoreio rotativo: experiência de manejo agroecológico em pastagens naturais do Bioma Pampa. In: , 2011. **Resumos do I Encontro Pan-Americano sobre Manejo Agroecológico de Pastagens 06**. [S. l.: s. n.], 2011. p. 1–12. Disponível em:

<https://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/12716>. Acesso em: 21 set. 2020.

QUADROS, Fernando Luiz Ferreira; TRINDADE, José Pedro Pereira; BORBA, Marcos. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. In: PILLAR, V. DE P. *et al.* .**Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2009. p. 206–227.

SANTOS, Manuel Eduardo Rozalino *et al.* Caracterização dos perfilhos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 643–649, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/Pss3mxHHTLGsdRxnSYq9Vzf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 jan. 2023.

TÖRÖK, P. *et al.* The present and future of grassland restoration. **Restoration Ecology**, [s. l.], v. 29, n. S1, p. 1–6, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/agricultural-and-forest-meteorology>. Acesso em: 14 fev. 2023.

WILES, Peter G.; GRAY, Ian K.; KISSLING, Roger C. Routine Analysis of Proteins by Kjeldahl and Dumas Methods: Review and Interlaboratory Study Using Dairy Products. *Journal of AOAC International*, [s. l.], v. 81, n. 3, p. 620–632, 1998. Disponível em: <https://academic.oup.com/jaoac/article/81/3/620/5684004?login=false>. Acesso em: 07 abr. 2021.