

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Jonatas Cezar da Silva  
Zootecnista / UNIPAMPA  
Mestre em Zootecnia – Plantas Forrageiras / UFRGS

MANEJO DE OFERTAS DE FORRAGEM EM PASTAGEM NATURAL: ESTUDO  
DOS TIPOS FUNCIONAIS E ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO

Porto Alegre, Rio Grande do Sul | Brasil  
Agosto | 2022

JONATAS CEZAR DA SILVA

MANEJO DE OFERTAS DE FORRAGEM EM PASTAGEM NATURAL: ESTUDO  
DOS TIPOS FUNCIONAIS E ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO

Tese apresentada em cumprimento dos requisitos para o grau de 'Doutor em Zootecnia', na Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César de Faccio Carvalho

Porto Alegre, Rio Grande do Sul | Brasil

Agosto | 2022

### CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Jonatas Cezar da  
Manejo de ofertas de forragem em pastagem natural:  
Estudo dos tipos funcionais e estabilidade de produção  
/ Jonatas Cezar da Silva. -- 2022.  
108 f.  
Orientador: Paulo Cesar de Faccio Carvalho.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Pastagem natural. 2. Ofertas de forragem. 3.  
Tipos funcionais. 4. Estabilidade de produção. 5.  
Morfogênese. I. Carvalho, Paulo Cesar de Faccio,  
orient. II. Título.

Jonatas Cezar da Silva  
Mestre em Zootecnia

## TESE

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### DOUTOR EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 05.08.2022  
Pela Banca Examinadora

PAULO CESAR DE FACCIO CARVALHO  
PPG Zootecnia/UFRGS  
Orientador

Homologado em: 28/11/2022  
Por

SERGIO LUIZ VIEIRA  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia

Carolina Bremm  
PPGZOOT/UFRGS

Cassiano Eduardo Pinto  
EPAGRI

Tiago Celso Baldissera  
EPAGRI

CARLOS ALBERTO BISSANI  
Diretor da Faculdade de Agronomia

## AGRADECIMENTOS

Devo começar agradecendo a Deus por permitir saúde a mim e aqueles que prezo para chegar ao fim dessa etapa, em anos tão atribulados.

Agradeço a meus familiares principalmente minha mãe e irmãos, que depositam esperanças, expectativas, mas acima de tudo, boas energias e incentivo para a finalização dessa tese e para o meu crescimento.

Agradeço em especial ao Paulo Carvalho pelo aceite de me orientar e compartilhar a oportunidade da convivência, crescimento intelectual e a todo ambiente do GPEP e da UFRGS, pelas trocas culturais de imenso valor além claro de todas as reflexões e discussões científicas, tanto remotamente quanto presenciais no QG e principalmente na casa da Estação Experimental/EEA, foram momentos inspiradores em torno da lareira.

Aos pós-doutorandos, colegas da pós-graduação e graduandos do GPEP que contribuíram com discussões, perguntas, trocas e convívio social. No entanto tiveram aqueles que devo agradecer de forma especial, pois fizeram parte de todo meu processo desde a construção do projeto até as atividades a campo.

Ao Emilio Laca, por todo apoio na construção do projeto e das hipóteses que permeiam esta tese. Agradeço também a doação de equipamentos importantes para coleta de dados bem como a paciência e boa vontade ao passar as instruções de uso e manutenção dos equipamentos.

Ao Carlos Nabinger, por todas as conversas sobre campo nativo e pelo aceite na disciplina estágio de docência, pois cresci muito com o acompanhamento das aulas, pela passagem de dicas e de sua experiência como docente.

A Carolina Bremm que também participou desde o início da construção do projeto, agindo como coorientadora, e sempre disposta a ouvir e ajudar nas soluções, dos problemas e angústias do protocolo e da base de dados como o nativão.

A Lidiane Eloy, pelo incansável apoio na estatística e na conclusão dessa tese, mas mais importante que isso agradeço todo apoio no âmbito pessoal tendo a certeza de que a amizade que criamos são laços que carregarei para sempre.

Aos meus colegas de pós-graduação que são inspiração, estiveram comigo durante estes anos em momentos bons e outros nem tanto, mas que foram responsáveis pela construção do meu pensamento científico e crescimento pessoal, agradeço especialmente a Fabiane Rosa, Vicente Laamon, Angel Zubieta, Daniel Gonçalves e ao Gustavo Haas.

Também não posso deixar de agradecer aos pesquisadores junior o qual chamamos carinhosamente de estagiários, sabendo que sem a ajuda, pro atividade, interesse e na maioria das vezes passando por maus bocados ao meu lado nos infindáveis ajustes do nativão, bem como nas horas agradáveis na casa da EEA. Aqui teria muitos nomes a serem agradecidos, citarei aqueles que de uma forma ou outra marcaram estes quatro anos de doutorado, agradeço a Rebeca Scotta, Jenifer Ramos, Loren Duarte, Leonardo Nunes e Ramiro Leão e todos os demais.

Por fim agradeço a CAPES pelo apoio financeiro, a UFRGS pela estrutura de trabalho, assim como à equipe EEA/UFRGS que sempre colaboraram com a mão de obra e a parceria na manutenção dos protocolos experimentais.

# MANEJO DE OFERTAS DE FORRAGEM EM PASTAGEM NATURAL: ESTUDO DOS TIPOS FUNCIONAIS E ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO<sup>1</sup>

Autoria: Jonatas Cezar da Silva

Orientação: Paulo Cesar de Faccio Carvalho

**RESUMO:** Pastagens naturais são ambientes complexos capazes de proverem recursos produtivos e serviços ecossistêmicos, por tanto, se faz necessário o entendimento das complexidades da sua dinâmica vegetacional em estudos que considerem uma janela temporal capaz de identificar padrões e efeitos ao longo do tempo. O objetivo foi avaliar como as distintas ofertas de forragem, e as condições climáticas impostas pela variação das estações do ano interferem na morfogênese e no fluxo de biomassa de espécies de diferentes tipos funcionais. O segundo objetivo foi definir quais tratamentos de ofertas de forragem aplicados ao longo dos anos em pastagens naturais apresenta os melhores índices de estabilidade de produção vegetal e animal além dos potenciais produtivos mínimos e máximos. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), em uma pastagem natural do Bioma Pampa no sul do Brasil. O experimento a campo ocorreu de 02 de janeiro de 2020 ha 18 de dezembro de 2020, onde foram escolhidas gramíneas com alta frequência e representantes dos tipos funcionais *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum*, *Andropogon lateralis* (estrato inferior), *Andropogon lateralis* e *aristida laevis* (estrato superior). Os tratamentos consistiram em ofertas de forragem: 4, 8-12(8% na primavera e 12% no restante do ano) e 16% (kg MS para cada 100 kg PV animal). O delineamento foi em blocos completos casualizados, com duas repetições, com parcela subdividida e medida repetida no tempo. Adotou-se a técnica de perfilhos marcados para as avaliações morfogênicas. Para o segundo objetivo foram avaliados cinco indicadores: massa de forragem (kg MS por ha<sup>-1</sup>), produção total de forragem (kg MS por ha<sup>-1</sup>), taxa de lotação (kg de PV por ha<sup>-1</sup>), ganho de peso vivo diário (kg de PV por animal<sup>-1</sup> por dia<sup>-1</sup>) e ganho de peso por área (kg de PV por ha<sup>-1</sup>). Foi utilizado um banco de dados de 2004 a 2021, totalizando 17 anos, onde se analisou o período de setembro a março (180 dias) considerado o de maior produção. O delineamento experimental foi organizado em blocos casualizados com duas repetições. O experimento contou com 5 tratamentos (4, 8, 8-12, 12 e 16 kg MS para cada 100 kg PV) esteve sempre em lotação contínua com novilhos. Os resultados mostraram grande complexidade, havendo muitas interações entre espécie, ofertas de forragem e estações do ano. Por exemplo interação tripla entre estação, espécie e oferta de forragem (P=0.0143) para taxa de alongação foliar, interação entre oferta de forragem e estações do ano para taxa de senescência (P=0.0009), fluxo de crescimento (P<0.0001) e fluxo de senescência (P=0.0054). O balanço final do fluxo de biomassa foi negativo para todas as espécies, ofertas de forragem e estações do ano em estudo. Para estabilidade de produção o tratamento 8-12% mostrou que pressões de pastejo moderadas promovem a estabilidade entre produções animal e vegetal, indicando boa adaptabilidade, resistência e resiliência, além de proporcionar maiores índices produtivos.

**Palavras-chave:** Bioma Pampa, Morfogênese, Fluxo de Biomassa, Perfilhos, Touceiras

---

<sup>1</sup> Tese de Doutorado em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (108 p.) Agosto, 2022.

## MANAGEMENT OF FORAGE ALLOWANCE IN NATURAL GRASSLAND: STUDY OF FUNCTIONAL TYPES AND PRODUCTION STABILITY <sup>2</sup>

Autoria: Jonatas Cezar da Silva

Orientação: Paulo Cesar de Faccio Carvalho

RESUMEN: Natural grassland are complex environments capable of providing productive resources and ecosystem services, therefore, it is necessary to understand the complexities of their vegetation dynamics in studies that consider a long term capable of identifying patterns and effects over time. The objective was to evaluate how the different forage allowances, and the climatic conditions imposed by the variation of the seasons, interfere in the morphogenesis and in the biomass flux of species of different functional types. The second objective was to define which treatments of forage allowances applied over the years in natural pastures have the best stability indices of plant and animal production in addition to the minimum and maximum productive potential. The experiment was carried out at the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), in natural grassland of the Pampa Biome in southern Brazil. The field experiment took place from January 2, 2020, to December 18, 2020, where grasses with high frequency and representatives of the functional types *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum*, *Andropogon lateralis* (lower stratum), *Andropogon lateralis* and *aristida laevis* (upper stratum) were chosen. The treatments consisted of forage allowances: 4, 8-12 (8% in spring and 12% in the rest of the year) and 16% (kg DM for each 100 kg BW). The design was in complete randomized blocks, with two replications, with subdivided plot and repeated measure in time. The technique of marked tillers was adopted for the morphogenic evaluations. For the second objective, five indicators were evaluated: forage mass (kg DM per ha<sup>-1</sup>), total forage production (kg DM per ha<sup>-1</sup>), stocking rate (kg of BW per ha<sup>-1</sup>), weight gain daily live (kg of LW per animal<sup>-1</sup> per day<sup>-1</sup>) and weight gain per area (kg of LW per ha<sup>-1</sup>). A database from 2004 to 2021 was used, totaling 17 years, where the period from September to March (180 days) was analyzed, considered the period highest production. The experimental design was organized in randomized blocks with two replications. The experiment was five treatments (4, 8, 8-12, 12 and 16 kg DM for each 100 kg BW) and always in continuous stocking with steers. The results showed great complexity, with many interactions between species, forage allowance and seasons. For example, triple interaction between season, species and forage allowance (P=0.0143) for leaf elongation rate, interaction between forage allowance and seasons for senescence rate (P=0.0009), growth flux (P<0.0001) and senescence flux (P=0.0054). The final balance of biomass flux was negative for all species, forage allowances and seasons under study. For production stability, the 8-12% forage allowance showed that moderate grazing pressures promote stability between animal and plant productions, indicating good adaptability, resistance and resilience, in addition to providing higher production rates.

Keywords: Pampa Biome, Morphogenesis, Biomass Flow, Tillers, Tussock

---

<sup>2</sup> Ph.D. thesis in Animal Science – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (108 p.), August, 2022.



## SUMÁRIO

CAPÍTULO I .....	14
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3 HIPÓTESES .....	25
4 OBJETIVOS GERAIS .....	25
4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	26
CAPÍTULO II .....	27
5 Efeito da oferta de forragem na morfogênese e fluxo de biomassa de gramíneas de distintos tipos funcionais presente em pastagens naturais.....	28
Introdução.....	30
Material e métodos.....	32
Resultados.....	39
Discussão.....	48
Conclusões.....	59
Referências Bibliográficas .....	60
CAPÍTULO III .....	66
6 A long-term trial on forage allowance effects on production stability of a natural grassland ecosystem.....	67
Introduction.....	68
Methods.....	70
Results.....	75
Discussion.....	78
Conclusion .....	85
Data availability.....	86
References .....	86
Figures and Tables .....	95
CAPÍTULO IV .....	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	101
REFERÊNCIAS.....	102
APÊNDICE .....	107
VITA .....	108

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1 – Tipos funcionais utilizando como atributos de classificação e teor de matéria seca (tmsf) e área foliar específica (afe) onde g e t identificam tipos *a. Lateralis* pastejado (g) e em tufos (t) (cruz et al., 2010).....21

### CAPÍTULO II

Tabela 1 – Efeitos de tratamento de ofertas de forragem, espécie e estações do ano e interações entre esses fatores.....39

Tabela 2 - Médias de taxa de alongação foliar expressa em cm/°c, para as diferentes espécies do estrato inferior em função dos diferentes níveis de oferta de forragem e estações do ano.....40

Tabela 3: Médias de taxa de alongação foliar do estrato superior expressa em cm/°c, em função dos diferentes níveis de oferta de forragem e estações do ano.....40

Tabela 4: Médias de taxa de senescência do estrato superior expressa em cm/°c, em função dos diferentes níveis de oferta de forragem e estações do ano.....41

Tabela 5: Valores de taxa de aparecimento foliar (folhas/gd) e filocrono (gd) para diferentes espécies em distintos níveis de oferta de forragem.....42

Tabela 6: Duração de vida da folha (dvf) e duração da alongação foliar (def), valores expressos em graus dias, para diferentes espécies em distintos níveis de oferta de forragem e estratos da pastagem.....43

Tabela 7: Médias de número de folhas por perfilho em diferentes estágios foliares para diferentes espécies do estrato inferior.....43

Tabela 8: Médias de número de folhas verdes que apresentaram senescência por perfilho, nas espécies do estrato superior em diferentes ofertas de forragem.....44

Tabela 9: Fluxos de crescimento e senescência, apresentados por espécie e por tratamentos de níveis de oferta de forragem em função da estação do ano. Os valores são expressos em mg/cm de lâmina foliar.....45

Tabela 10: Fluxo de biomassa, apresentado por espécie e por tratamentos de níveis de oferta de forragem em função das estações do ano. Os valores são expressos em mg/cm de lâmina foliar.....46

### CAPÍTULO III

Table 1. Average production and metrics of stability production of a long-term protocol, in a natural grassland ecosystem, managed under different forage allowance. Different letters in the column represent differences between treatments according to the tukey test ( $\alpha = 0.05$ ). Numbers in parentheses classify treatments for variables within the column. The fw slope represents a large slope of the finlay and wilkinson regression.....97

Table 2. Minimum and maximum forage production potentials and animal parameters of a long-term protocol, in a natural grassland ecosystem, managed under different forage allowance. Different letters in the column represent significant differences between treatments according to the tukey test ( $\alpha = 0.05$ ).....98

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1 – Relação entre as principais características morfogênicas das plantas forrageiras e as características estruturais do pasto (Lemaire e Chapman, 1996)....19

### CAPÍTULO II

Figura 1 - Acumulado mensal de pluviosidade no ano de 2020, e médias mensais históricas do estado do Rio Grande do Sul .....38

### CAPÍTULO III

Figure 1 - Production stability of (a) forage mass ( $\text{kg dm ha}^{-1}$ ), (b) total forage production ( $\text{kg dm ha}^{-1}$ ), (c) stocking rate ( $\text{kg bw ha}^{-1}$ ), (d) live weight gain ( $\text{kg bw animal}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) and (e) live weight gain per area ( $\text{kg bw ha}^{-1}$ ) of a long-term protocol in natural grassland ecosystem submitted to different forage allowances (4, 8, 8- 12, 12 and 16%).....94

Figure 2. Rank of production stability of the variables forage mass ( $\text{kg dm ha}^{-1}$ ), total forage production ( $\text{kg dm ha}^{-1}$ ), live weight gain ( $\text{kg bw animal}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), and live weight gain per area ( $\text{kg bw ha}^{-1}$ ), of a long-term protocol in natural grassland ecosystem submitted to different forage allowances.....96

## LISTA DE ABREVIACOES

FB	Fluxo de biomassa
°C	Celsius
C3	Plantas que formam �cido 3-fosfoglic�rico após fixa�o do carbono
C4	Plantas que formam ácido oxalac�tico após fixa�o do carbono
Cfa	Clima subtropical úmido cm – Centímetro
EEA	Esta�o Experimental Agronômica
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FC	Fluxo de crescimento
FS	Fluxo de senescência
Ha	Hectare
Mg	Miligramas
MS	Matéria seca
NFV	Número de folhas verdes
NFVS	Número de folhas verdes que apresentaram senescência
NFS	Número de folhas senescentes
NFN	Número de folhas novas
NFT	Número de folhas totais
ST	Soma térmica
T	Temperatura
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## CAPÍTULO I

## 1 INTRODUÇÃO

As pastagens naturais estão entre os maiores ecossistemas do mundo, e equivalem a cerca de um quarto da superfície terrestre, coexistindo com a herbivoria em um sistema de troca, ciclagem e reciclagem de nutrientes (BILENCA e MIÑARRO, 2004). Em vários locais do mundo, este papel de coevolução vem sendo moldado pela ação do homem, principalmente por meio da pecuária, cabendo a ela um papel fundamental na produção de alimentos.

Diferente do que se possa imaginar, as pastagens nativas são ecossistemas extremamente complexos, ao qual vem sendo observado um aumento nos estudos enfatizando relações entre os vários componentes da pastagem (MACHADO et al., 2013), os componentes que integram estes ecossistemas são numerosos, diversos e interagem entre si. As interações se dão em diferentes graus e arranjos, a dinâmica do ecossistema é fortemente influenciada pela heterogeneidade e pela existência de múltiplos estratos vegetais (BRISKE et al., 2008), tornando extremamente desafiante compreender o seu funcionamento.

O entendimento deste ecossistema se dá por alguns pontos fundamentais que se relacionam constantemente. O clima ou as condições climáticas do local em que a pastagem está inserida são fatores que fogem ao controle do homem, os principais fatores climáticos são precipitação, radiação, temperatura, entre outros, os quais influenciam diretamente as plantas, sendo observadas variações de produtividade de acordo com a variação estacional (NABINGER et al., 2006). Seguramente o clima está entre os principais fatores de importância na dinâmica vegetacional.

No caso de pastagens naturais, com uma composição florística altamente diversificada e sem aporte de nutrientes, estudos sobre a dinâmica vegetacional e sua relação com o ambiente tendem a ser escassas (GIUSTINA et al., 2019), pois as plantas podem apresentar diferentes hábitos de crescimento, estratégias de reprodução, e estratégias frente ao pastejo, sendo a quantidade e qualidade ofertada, os principais pontos a serem manejados pelo homem.

O tempo possivelmente está entre os fatores mais complexos a serem estudados, pois inevitavelmente ele está atuando das formas mais diversas possíveis, seja de forma cronológica com o passar dos anos e das estações climáticas até o pastejo animal, moldando a vegetação bem como sua estrutura.

Conhecer as diferentes escalas temporais que possam estar relacionadas, tanto ao ambiente (estações do ano), quanto ao animal em pastejo, por exemplo, na escala do bocado onde além do tamanho e da taxa de bocado o tempo de pastejo, são bastante desafiadoras (PROVENZA et al., 2004).

Faz-se necessário a coleta de dados relacionados à dinâmica destas pastagens, sempre levando em consideração seus fatores relacionados, como clima e particularidades de seus tipos funcionais, para se compreender a complexidade destes sistemas em função da passagem do tempo, e para que seja possível montar e/ou aprimorar modelos vegetais capazes de explicar e quantificar as interações existentes, podendo assim predizer o crescimento vegetal de forma satisfatória, frente a diferentes ofertas de forragem, estruturas de pasto, épocas do ano, relevo, características de solo, mudanças ambientais, entre outros.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Biomassas com vegetação campestre abrigam uma infinidade de espécies, tanto vegetais como animais, sendo possível encontrar representantes destes ecossistemas em variados climas dispersos pelo globo, estando presente em todos os continentes, por exemplo, África, Mongólia, estepe Tibetana e estepe Russa, onde se encontram antigas pastagens, e em períodos mais recentes as pastagens naturais da Patagônia, Campos, América Central e Austrália (SUTTIE et al., 2005).

Esses biomas são explorados há muito tempo pelo homem, de formas diversas, sendo talvez o uso como pastagens naturais o mais antigo deles, e atualmente são responsáveis por contribuir nas atividades agrícolas, sociais, ambientais e econômicas, em escalas nacionais, regionais e de captação (LEMAIRE et al., 2005). Em geral, o termo pastagem pode ser usado para definir onde a vegetação predominante é composta por gramíneas, leguminosas, plantas semelhantes a gramíneas, arbustos que são pastejados ou que têm potencial para serem pastejados, podendo ser usados a partir de um ecossistema natural para a produção de gado em pastoreio e usado pela vida selvagem (ALLEN et al., 2011). Há evidências que sugerem que é possível combinar altos níveis de provisão de serviços ecossistêmicos e produção de carne (MODERNEL et al., 2016).

As pastagens se desenvolvem onde há umidade, clima e condições antrópicas suficientes para o seu crescimento e, estima-se que pastagens naturais contenham aproximadamente 10.000 espécies agrupadas em cerca de 800 gêneros, distribuídos na superfície terrestre (BILENCA E MIÑARRO, 2004). Pastagens naturais são excelentes alternativas para a criação animal, pois conciliam baixo custo de produção com a manutenção do ecossistema, sendo por vezes uma das poucas formas de exploração em áreas montanhosas, áridas, ou de difícil acesso para implementos agrícolas (FAO, 2001), sendo estes sistemas incrivelmente complexos e heterogêneos.

O conceito de heterogeneidade está diretamente relacionado à riqueza e configuração destes locais e como as diversas partes do sistema são organizadas, diferindo umas das outras (LACA, 2008). Infelizmente estes sistemas naturais vem diminuindo, com consequências como degradação da paisagem, perda de biodiversidade, erosão e degradação do solo, no ano de 2007 a cobertura era de

49% da vegetação original (BOLDRINI, 2009), e segundo o Projeto MapBiomas atualmente apenas 43,2% da vegetação nativa está preservada (MapBiomas, 2021).

Este ecossistema campestre, compreende o Uruguai, se estendendo ao nordeste da Argentina e sul do Brasil. O Bioma Pampa, possui uma grande diversidade possuindo entre 400 e 500 espécies de gramíneas e 250 espécies de leguminosas (BOLDRINI, 2009). Uma das particularidades deste bioma é a coexistência de espécies de rota metabólica C4, características de clima tropical e de espécies C3, de clima temperado (BOLDRINI, 2006). A predominância, no entanto, é de espécies C4, as quais apresentam sua maior produção e qualidade na época favorável de crescimento (primavera/verão) (NABINGER et al., 2009). As Plantas C4 têm uma ampla diversidade funcional e morfológica (por exemplo, plantas estoloníferas, prostradas, de tufos altos), uma condição que permite combinações de espécies e coexistência entre diferentes tipos (DA SILVA, et al., 2015).

O Brasil não é apenas um país com florestas extremamente ricas em espécies, mas também contém uma diversidade de ecossistemas não-florestais que cobrem cerca de 30% da área do país (OVERBECK et al., 2015). As pastagens estão localizadas em diferentes ecossistemas, e estão distribuídas em todas as regiões do país, sendo caracterizadas por pastagens cultivadas e pastagens naturais. Devido a magnitude da variabilidade na fisionomia e na composição florísticas, entre e dentro do próprio ecossistema, as pastagens nativas podem se apresentar na forma de estrato herbáceo com gramíneas e leguminosas até um arbustivo arbóreo com plantas de médio porte (CEZAR et al., 2005).

Por si só esses ecossistemas campestres são importantíssimos para a biodiversidade e garantia de serviços ecossistêmicos, sendo suas pastagens bastante apreciadas quando adequadamente manejadas (SUTTIE et al., 2005). As pastagens naturais também atuam na conservação de recursos hídricos, disponibilidade de polinizadores e provimento de recursos genéticos e, também representam uma das principais fontes forrageiras para a pecuária oferecendo beleza cênica com potencial turístico importante (PILLAR et al., 2009).

Em geral a busca pelo entendimento do funcionamento destas pastagens complexas se dá na forma de estudo dos fatores que afetam estes sistemas, onde geralmente são estudados de forma isolada. Isso fica claro, por exemplo, observando os resultados de um protocolo experimental com mais de três décadas,

(MARASCHIN, 1993; CORREA e MARASCHIN, 1994; BERTOL et al., 1998; MOOJEN e MARASCHIN, 2002; EGGERS et al., 2004; NEVES et al., 2009; GONÇALVES et al., 2009; CRUZ et al., 2010; CONTE et al., 2011; MEZZALIRA et al., 2012; Da TRINDADE et al., 2012; CARVALHO et al., 2015; FISCHER et al., 2019). A continuidade dos estudos para se chegar aos melhores cenários produtivos ainda se faz necessário. No entanto, entender as relações entre os fatores principais de uma pastagem e como eles atuam em conjunto para a dinâmica de crescimento não é uma tarefa simples.

## 2.1 Planta

As pastagens naturais do sul do Brasil são em geral formadas por gramíneas, e em termos básicos seu crescimento e desenvolvimento é bastante conhecido, elas apresentam estrutura modular, sendo que cada planta é formada por vários perfilhos, cada perfilho é formado pela sucessiva emissão de fitômetros (BRISKE, 1991).

É por meio desta unidade básica da planta denominada perfilhos que podemos fazer aferições e definir os processos que guiam a produção primária de uma pastagem. Este é o ponto inicial para explicar seu comportamento produtivo, pois as diferentes características morfológicas e genóticas afetam as características estruturais da vegetação (NABINGER e PONTES, 2001).

A morfogênese pode ser definida como a dinâmica de geração (genesis) e expansão da forma (morphos) da planta no espaço e no tempo (LEMAIRE e CHAPMAN, 1996). As características morfogênicas das plantas podem ser resumidas em: taxa de aparecimento foliar, taxa de alongamento foliar, tempo de vida da folha (senescência) e alongamento de colmos, sendo esses os principais processos fisiológicos que determinam os fluxos de tecidos nas plantas.

As combinações dessas variáveis são determinantes para as características estruturais do pasto, tais como o comprimento final da folha, a densidade populacional de perfilhos e o número de folhas vivas por perfilho, capazes de afetar o dossel forrageiro, constituindo um sistema de causa e efeito que, por fim, afetará o processo de pastejo (LEMAIRE e CHAPMAN, 1996).

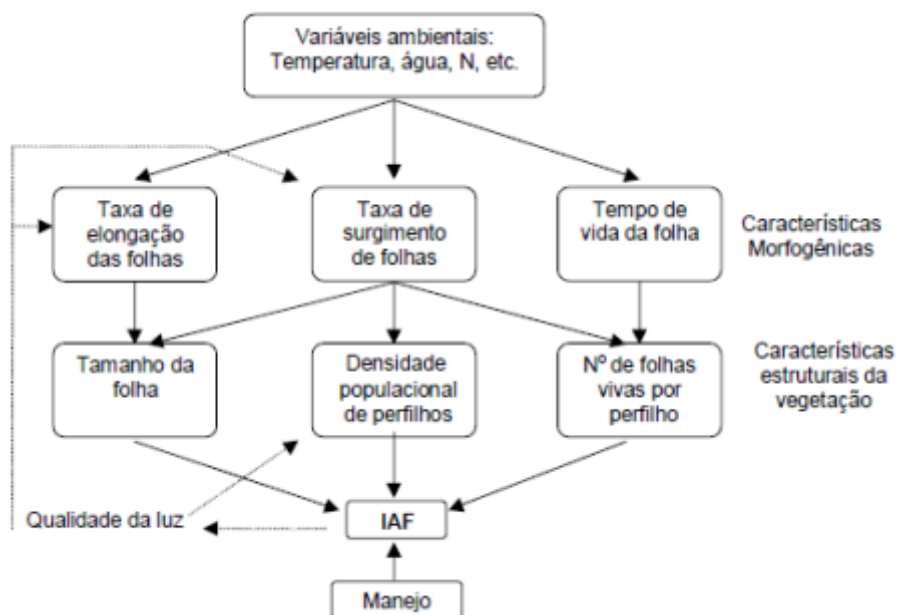


Figura 1: Relação entre as principais características morfológicas das plantas forrageiras e as características estruturais do pasto (LEMAIRE e CHAPMAN, 1996).

As variáveis morfológicas taxa de alongação e de senescência, fazem parte de características que expressam o crescimento e desenvolvimento vegetal. Portanto, todos os fatores que modificam essas taxas de desenvolvimento geram efeitos de mesma natureza nos índices morfológicos (SANTOS, 2013), tal como o filocrono. Em pastagens nativas, características como o filocrono e a vida útil das folhas estão intimamente relacionadas (NABINGER, 1997). As variáveis como alongamento de folhas, aparecimento de folhas e duração de vida das folhas, determinam as principais características estruturais do pasto (CHAPMAN e LEMAIRES, 1993). O melhor conhecimento da magnitude dos processos de crescimento, ingestão e morte de tecidos vegetais poderia ajudar na definição de estratégias alternativas de manejo para melhorar a eficiência no uso de forragem dessas pastagens naturais (CONFORTIN et al., 2016).

Esta relação entre filocrono e a vida útil das folhas, é um dos fatores que podem ser usados como critério para agrupar as espécies em diferentes tipos funcionais, porque está diretamente ligada ao crescimento e desenvolvimento das plantas (WEITHER et al., 1999).

Em um ambiente formado majoritariamente por gramíneas possuindo aproximadamente 500 espécies (BOLDRINI, 2009), onde muitas delas tem valor forrageiro, é praticamente impossível todas serem estudadas de forma tão detalhada. Devido a esta dificuldade de estudo, tornou-se necessário encontrar uma

alternativa que fosse capaz de não apenas simplificar o entendimento, como facilitar o manejo destas pastagens complexas, constituídas por centenas de espécies. Nesse contexto é necessária uma descrição funcional da diversidade da vegetação, estando baseada na pressuposição de que predições do funcionamento de ecossistemas vegetais possam ser feitas por meio do conhecimento e da descrição de funções em nível do organismo (CHAPIN et al., 2000). Estas funções comuns identificadas poderiam agrupar as espécies em tipos funcionais (NABINGER, 1998). Os tipos funcionais de resposta ou efeito foram denominados de acordo com as mudanças nos fatores ambientais ou ao seu efeito no funcionamento do ecossistema e, também, as características foliares área de superfície, teor de matéria seca foram usadas para definir os tipos funcionais (CRUZ et al., 2002).

Para o Sul do Brasil foi proposto o uso de uma tipologia funcional baseada em atributos foliares de gramíneas, classificando as em quatro tipos: A, B, C e D, sendo baseado na forma de utilização dos recursos (CRUZ et al., 2010). As espécies classificadas nos tipos A e B são plantas que apresentam teor baixo de matéria seca e alta área foliar específica.

Essas plantas possuem hábito de crescimento prostrado e compõem o estrato inferior, localizado entre touceiras. Possuem valor nutricional mais elevado, o que leva a intensidades de desfolha também mais elevadas, na ausência de um ajuste adequado da carga animal (QUADROS et al., 2009). Por outro lado, as espécies classificadas nos tipos C e D são caracterizadas por apresentarem maiores teores de matéria seca e menor área foliar específica. São espécies cespitosas, conhecidas como conservadoras de recursos, formadoras de touceiras, que acumulam grandes quantidades de material morto e senescente em determinadas épocas do ano. Essas plantas são as que compõem o estrato superior, e normalmente são encontradas em ambientes marginais, menos férteis (CRUZ et al., 2010).

Tabela 1. Tipos funcionais utilizando como atributos de classificação o teor de matéria seca (TMSF) e área folia específica (AFE), onde G e T identificam tipos de *Andropogon lateralis* pastejado (G) e em tufos (T) (CRUZ et al., 2010).

Grupo	TMSF (mg.g <sup>-1</sup> )	AFE (m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> )	Espécies
A	<300	24	<i>Axonopus sabulorum</i> , <i>affinis</i> , <i>Panicum</i>
B	310	16	<i>Andropogon lateralis</i> G, <i>Coelorachis selloana</i> , <i>Paspalum paucifolium</i> , <i>P. notatum</i> .
C	380	8	<i>Andropogon lateralis</i> T, <i>Piptochaetium montevidense</i> , <i>Sporobolus indicus</i>
D	500	6	<i>Aristida</i> spp. ( <i>Aristida laevis</i> , <i>Aristida phyllifolia</i> , <i>Aristida venustula</i> )

Esta interação entre os tipos e diferentes espécies em um ambiente altamente adaptado, mas que constantemente os recursos são escassos, ainda há competição entre as espécies presentes na área podendo mudar sua dinâmica de perfilhamento e estabilidade populacional ao longo do tempo (GIUSTINA et al., 2019) alterando a dinâmica vegetacional da pastagem.

## 2.2 Clima

Um dos pilares fundamentais que afetam diretamente as pastagens naturais é o clima, principalmente através da chuva, temperatura e radiação solar, está continuamente influenciando as características do solo e sua dinâmica com o ambiente e, estes fatores juntos moldaram as características que podemos observar hoje em nossas pastagens naturais. Essas pastagens foram formadas ao longo dos séculos em um processo de evolução constante, estando altamente adaptadas as condições do local em que estão inseridas, pois historicamente, as sociedades humanas usaram os campos naturais como áreas de pastejo (BILENCA e MIÑARRO, 2004). Portanto negligenciar esse histórico e sua habilidade adaptativa não seria prudente.

Além da habilidade adaptativa, estes fatores moldaram um ambiente bastante heterogêneo com uma enorme variabilidade em termos de produção de forragem, dependendo do local e da época do ano. Em relação a época do ano, as variações de produtividade são determinadas pela variação estacional do clima, e as variações

no local (espaço), (NABINGER et al., 2006). Também está ligada a composição botânica e estrutura da vegetação, e estes atributos são fortemente influenciados por fatores ambientais e edáficos (ROYO PALLARÉS et al., 2005)

As características ambientais relacionadas ao clima tendem a ser as mais importantes para afetar o crescimento vegetal, principalmente pelo déficit hídrico e temperatura, pois estes fatores afetam as taxas de alongação foliar e senescência (McIVOR, 1984) de forma que a desfolha causada pelo animal poderia até mesmo entrar em segundo plano, não sendo tão determinantes para modificar estas taxas (LEMAIRE e CHAPMAN, 1996). A temperatura se mostra um fator fundamental, pois à medida que a temperatura aumenta, a taxa média de expansão da lâmina e o número de lâminas que crescem aumenta simultaneamente, a alta temperatura acelera as mudanças nas características do perfilhos que ocorrem à medida que o crescimento avança (DURU e DUCROCQ, 2000), este desenvolvimento de tecidos é altamente relacionado a temperatura através do conceito de soma térmica e graus-dia (Paula et al., 2008), onde a temperatura é vital para a ativação dos processos bioquímicos das plantas (Larcher et al., 2006).

### 2.3 Animal

O manejo animal adotado entra nestes sistemas de pastagens naturais trazendo um grau maior de complexidade, em geral usando diferentes intensidades de pastejo como balizador da produtividade animal (CARVALHO et al., 2008). Por meio disso, todas as ações realizadas pelos animais têm efeitos diretos e indiretos sobre as estruturas das plantas, atributos físicos e químicos do solo entre outros.

O pastejo é uma via de modificação, pois o comportamento ingestivo animal aliado a pressões de pastejo moldam diferentes cenários nas pastagens. O fluxo de ingestão de lâminas foliares é influenciado pelas características morfológicas e fisiológicas, pela abundância relativa de gramíneas e pela preferência de pastejo de novilhas (CONFORTIN et al., 2016). A modificação da estrutura do pasto, além de alterar o equilíbrio ecológico entre espécies presentes no duplo estrato (inferior e superior) também afeta o comportamento ingestivo dos herbívoros na busca, manipulação, apreensão e ingestão da forragem (HODGSON, 1990). Em um protocolo de longa duração, após 26 anos de experimento, os tratamentos de intensidade de pastejo, definidos pelos níveis de oferta de forragem, afetaram

significativamente a composição funcional das pastagens, indicando que diferentes intensidades de pastejo selecionaram espécies com diferentes estratégias funcionais (FISCHER et al., 2019).

Por vezes, o impacto do animal na estrutura da comunidade de plantas é uma grande preocupação para o uso e conservação da natureza, pois é crítico para a manutenção, produtividade, uso econômico e biodiversidade das pastagens (MILCHUNAS et al., 1988). Estudos tem evidenciado o papel de estruturas presentes no estrato superior nas interações do animal com o ambiente, podendo ser um mantenedor de funções ou até um limitante de consumo (LACA & LEMAIRE, 2001).

O ato do pastejo é visto como o fator mais importante sobre a vegetação natural uma vez que a remoção de órgãos da planta afeta sua dinâmica de produção. A remoção da área foliar ao longo de toda a estação de crescimento afeta a sua taxa de acumulação, sendo essa diretamente influenciada pelos ritmos de surgimento e alongamento dos tecidos foliares (BRISKE, 1991).

Em condições normais de pastejo moderado, pastagens naturais apresentam formação de duplo estrato, sendo que esta característica do ambiente pode ocorrer a partir de diferentes ofertas de forragem, uma vez que essas promovem variações na estrutura e características do dossel (BOLDRINI, 1997), resultando em diferentes padrões de resposta de produção vegetal e animal (PINTO et al., 2001). Mesmo em pastagens com pastejo mais intensivos pesquisas apontam que pastagens naturais mesmo em curtos períodos de exclusão ao pastejo seriam suficientes para restaurar a composição botânica e a produtividade (FEDRIGO et al., 2018), dado o efeito animal através de intensidades de pastejo.



### 3 HIPÓTESES

O ambiente das pastagens naturais promove um ambiente extremamente heterogêneo, e o manejo de ofertas de forragem adotado nestas pastagens imprime um novo grau de complexidade. Desta forma os diferentes níveis de oferta de forragem afetam a expressão das características estruturais e morfogênicas de gramíneas de diferentes tipos funcionais.

- a) A primeira hipótese é que as características morfogênicas são moldadas de forma distinta em função das ofertas de forragem e da sazonalidade climática imposta pelas estações do ano. Postula-se que as espécies em ofertas altas e moderadas, as taxas de alongação e senescência assim como os fluxos de biomassa se apresentem maiores em relação as ofertas consideradas baixas, bem como em épocas de crescimento favorável como a estação da primavera.
- b) A partir da análise de uma base de dados de um protocolo de longa duração formulou-se a hipótese de que em um ecossistema de pastagens naturais manejado sob diferentes ofertas de forragem, a estabilidade da produção vegetal e animal se dá em ofertas moderadas a altas, assim como os máximos potenciais produtivos.

### 4 OBJETIVOS GERAIS

- a) Avaliar como as distintas ofertas de forragem interferem no crescimento e nas questões morfogênicas e estruturais de espécies de diferentes tipos funcionais.
- b) Medir o efeito das condições climáticas através das estações do ano nas características morfogênicas e estruturais de espécies de distintos tipos funcionais.
- c) Definir qual tratamento de oferta de forragem aplicado ao longo dos anos em pastagens naturais promove a maior estabilidade de produção vegetal e animal.
- d) Testar o potencial produtivo das pastagens naturais submetidas a diferentes ofertas de forragem ao longo dos anos em estudo.

#### 4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar as taxas de alongação, senescência, filocrono e fluxos de biomassa em função das ofertas de forragem e estações do ano.
- b) Determinar a duração de vida da folha e duração da alongação foliar para as espécies dos distintos tipos funcionais.
- c) Estimar o número de folhas por perfilhos nos diferentes estágios foliares para as espécies dos diferentes tipos funcionais.
- d) Determinar um ranqueamento dos diferentes níveis de oferta de forragem em função da estabilidade de produção animal e vegetal.
- e) Definir qual tratamento de oferta de forragem se encontra o melhor equilíbrio entre a estabilidade de produção e o potencial produtivo.
- f) Estimar o potencial produtivo mínimo e máximo da produção vegetal e animal das pastagens naturais para os diferentes níveis de oferta de forragem.

## CAPÍTULO II

## 5 EFEITO DA OFERTA DE FORRAGEM NA MORFOGÊNESE E FLUXO DE BIOMASSA DE GRAMIEAS DE DISTINTOS TIPOS FUNCIONAIS PRESENTE EM PASTAGENS NATURAIS

Jonatas Cezar da Silva<sup>1</sup>, Paulo César de Faccio Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Porto Alegre, RS, Brasil

**RESUMO-** O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, em uma pastagem natural heterogênea característica do Bioma Pampa. O objetivo do estudo foi avaliar como as distintas ofertas de forragem interferem no crescimento e na morfogênese de espécies de diferentes tipos funcionais, além de medir o efeito das condições climáticas através das estações do ano. Foram escolhidas gramíneas representativas *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum* e *Andropogon lateralis* (estrato inferior) representando as utilizadoras de recursos e *Andropogon lateralis* e *aristida laevis* representando as conservadoras de recursos (estrato superior). Os tratamentos consistiram em ofertas de forragem: 4, 8-12(8% na primavera e 12% no restante do ano) e 16% (kg de matéria seca para cada 100 kg de peso vivo animal). O delineamento foi em blocos completos casualizados, com duas repetições, com parcela subdividida e medida repetida no tempo. Adotou-se a técnica de perfilhos marcados. No grupo das utilizadoras encontrou-se interação tripla entre estação, espécie e oferta de forragem ( $P=0.0143$ ) para taxa de alongação foliar. Interação entre oferta de forragem e estações do ano para taxa de senescência ( $P=0.0009$ ), fluxo de crescimento ( $P<0.0001$ ) e fluxo de senescência ( $P=0.0054$ ). Efeitos de espécie para número de folhas ( $P<0.0001$ ) e efeitos de oferta de forragem para filocrono ( $P=0.0294$ ) e duração da vida da folha ( $P=0.0097$ ). Espécies conservadoras de recurso apresentaram duas interações: entre ofertas de forragem e estação do ano ( $P=0.0356$ ) e entre espécie e estação do ano ( $P<0.0001$ ). Taxa de senescência apresentou efeito de estação do ano ( $P<0.0001$ ) e de espécie ( $P=0.0028$ ), assim como fluxo de senescência  $P<0.0001$ . Filocrono ( $P<0.0001$ ), duração de vida da folha ( $P=0.0169$ ) e duração da alongação foliar ( $P=0.0003$ ) apresentaram efeito de oferta de forragem. Variáveis foliares mostraram interação oferta de forragem e espécie ( $P=0.0444$ ) para NFVS, efeito de oferta de forragem para NFS ( $P=0.0010$ ) e NFT ( $P<0.0001$ ), e efeito de espécie para NFN ( $P=0.0004$ ). O balanço final do fluxo de biomassa foi negativo para todas as espécies, ofertas de forragem e estações do ano em estudo.

**Palavras - chave:** Dinâmica vegetacional, Bioma Pampa, Estações do ano, Perfilho, Filocrono.

**EFFECT OF FORAGE ALLOWANCE ON MORPHOGENESIS AND BIOMASS  
FLUX OF GRASSES OF DIFFERENT FUNCTIONAL TYPES PRESENT IN  
NATURAL GRASSLANDS**

**Jonatas Cezar da Silva<sup>1</sup>, Paulo César de Faccio Carvalho<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Porto Alegre, RS, Brasil

**ABSTRACT-** The experiment was carried out at the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS), municipality of Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil, in a heterogeneous natural grassland characteristic of the Pampa Biome. The objective of the study was to evaluate how the different forage allowances interfere in the growth and morphogenesis of species of different functional types, in addition to measuring the effect of climatic conditions across the seasons. Representative grasses *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum* and *Andropogon lateralis* (lower stratum) representing resource users and *Andropogon lateralis* and *Aristida laevis* representing resource conservers (upper stratum) were chosen. The treatments consisted of forage allowances: 4, 8-12 (8% in spring and 12% in the rest of the year) and 16% (kg of dry matter for each 100 kg of animal live weight). The design was in complete randomized blocks, with two replications, with subdivided plot and repeated measure in time. The marked tiller technique was adopted. In the user group, a triple interaction was found between season, species and forage allowance ( $P=0.0143$ ) for leaf elongation rate. Interaction between forage allowance and seasons for senescence rate ( $P=0.0009$ ), growth flux ( $P<0.0001$ ) and senescence flux ( $P=0.0054$ ). Species effects for leaf number ( $P<0.0001$ ) and forage allowance effects for phyllochron ( $P=0.0294$ ) and leaf life duration ( $P=0.0097$ ). Resource conserving species showed two interactions: between forage allowance and season ( $P=0.0356$ ) and between species and season ( $P<0.0001$ ). Senescence rate showed seasonal effect ( $P<0.0001$ ) and species ( $P=0.0028$ ), as well as senescence flux  $P<0.0001$ . Phyllochron ( $P<0.0001$ ), leaf life duration ( $P=0.0169$ ) and leaf elongation duration ( $P=0.0003$ ) showed forage allowance effect. Leaf variables showed interaction of forage allowance and species ( $P=0.0444$ ) for NFVS, forage allowance effect for NFS ( $P=0.0010$ ) and NFT ( $P<0.0001$ ), and species effect for NFN ( $P=0.0004$ ). The final balance of biomass flux was negative for all species, forage allowance and seasons under study.

**Key words:** Vegetational Dynamics, Pampa Biome, Seasons, Tiller, Phyllochron.

## INTRODUÇÃO

Pastagens naturais se desenvolvem onde há umidade, clima e condições antrópicas suficientes para o seu crescimento e estima-se que estas pastagens contenham aproximadamente 10 mil espécies agrupadas em cerca de 800 gêneros espalhados pelo globo (Bilenca e Miñarro, 2004). Pastagens naturais costumam apresentar alta riqueza botânica (Fraser et al., 2015) e estrutural (Andrade et al., 2019), um exemplo é o Bioma Pampa, este bioma abriga cerca de 450 espécies de Poaceae, 200 Fabaceae, 600 Asteraceae e 200 Cyperaceae (Modernel et al., 2016; Boldrini et al., 2009).

Em termos básicos o crescimento e desenvolvimento de gramíneas é bastante conhecido, elas apresentam estrutura modular, sendo que cada planta é formada por vários perfilhos, cada perfilho é formado pela sucessiva emissão de fitômetros (Briske, 1991). É por meio desta unidade básica da planta denominada perfilhos que podemos fazer aferições e definir os processos que guiam a produção primária de uma pastagem. Este é o ponto inicial para explicar seu comportamento produtivo, pois as diferentes características morfológicas e genotípicas afetam as características estruturais da vegetação (Nabinger e Pontes, 2001).

As características morfogênicas das plantas podem ser resumidas em: taxa de aparecimento foliar, taxa de alongamento foliar, tempo de vida da folha (senescência), sendo esses os principais processos fisiológicos que determinam os fluxos de tecidos nas plantas, além disso, a combinação dessas variáveis são determinantes para as características estruturais do pasto, capazes de afetar o dossel forrageiro, constituindo um sistema de causa e efeito que, por fim, afetará o processo de pastejo (Lemaire e Chapman, 1996).

Nas pastagens naturais do Bioma Pampa foi proposto o uso de uma tipologia funcional baseada em atributos foliares de gramíneas, classificando-as em quatro tipos: A,

B, C e D, sendo baseado na forma de utilização dos recursos (Cruz et al., 2010). As espécies classificadas nos tipos A e B são plantas que apresentam teor baixo de matéria seca e alta área foliar específica. Essas plantas possuem hábito de crescimento prostrado e compõem o estrato inferior, localizado entre touceiras. Possuem valor nutricional mais elevado, o que eleva a intensidades de desfolha (Quadros et al., 2009).

Por outro lado, as espécies classificadas nos tipos C e D são caracterizadas por apresentarem maiores teores de matéria seca e menor área foliar específica. São espécies cespitosas, conhecidas como conservadoras de recursos, formadoras de touceiras, que acumulam grandes quantidades de material morto e senescente em determinadas épocas do ano. Essas plantas são as que compõem o estrato superior, e normalmente são encontradas em ambientes marginais, menos férteis (Cruz et al., 2010).

Pastagens naturais são excelentes alternativas para a criação animal, pois conciliam baixo custo de produção com a manutenção do ecossistema, sendo por vezes uma das poucas formas de exploração da área (FAO, 2001), infelizmente estudos demonstram que seu uso está aquém do potencial ótimo em relação a sua produtividade, eficiência, sustentabilidade e conservação, pela falta de conhecimento da complexidade desses ambientes (Carvalho et al., 2009). Garantir ou aumentar a produção animal e os serviços ecossistêmicos baseado em pastagens requer gerenciamento do pastejo e suas condições, apesar de extremamente complexo (Farrié et al., 2015), portanto se faz necessário compreender os limites das respostas das plantas em nível individual as variações ambientais e ao longo do tempo, como as variáveis morfogênicas e a dinâmica de produção de biomassa. O estudo dessas variáveis morfogênicas nos dá respostas sobre expansão da forma da planta no espaço (Chapman e Lemaire, 1993), pois cada espécie integrante da comunidade pastoril apresenta seu padrão de resposta as condições de pastejo e de ambiente (Eggers, 2004). Já o balanço de fluxos pode ser usado como forma de determinar

formas de utilização da forragem, contribuindo para o entendimento da interação planta animal (Cauduro et al., 2005).

Com a hipótese de que as características morfogênicas são moldadas pelas ofertas de forragem e em função da sazonalidade climática, o objetivo deste estudo foi compreender a dinâmica das características morfogênicas e o fluxo de biomassa, de espécies de gramíneas que representam os diferentes tipos funcionais presentes no bioma pampa.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi desenvolvido em uma pastagem natural do Bioma Pampa, na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, município de Eldorado do Sul-RS (30°05'S e 51°40'W), com altitude média de 46m. O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cfa. Apresenta precipitação de 1445mm e temperatura média anual é de 18,8 °C, variando de 9 °C (inverno) a 25 °C (verão) (Bergamaschi et al., 2013). Os tipos de solo são predominantemente Argissolo Vermelho Distrófico (Conte et al., 2011), e Plintossolo. Quanto à posição topográfica, o Argissolo Vermelho Distrófico predomina no interflúvio (topo) e encostas e o Plintossolo no pedimento (Boldrini, 1993).

O experimento está inserido dentro de um protocolo de longa duração que vêm sendo conduzido desde o ano de 1986, onde muito conhecimento foi gerado (Maraschin, 1993; Correa e Maraschin, 1994; Bertol et al., 1998; Moojen e Maraschin, 2002; Eggers et al., 2004; Neves et al., 2009; Gonçalves et al., 2009; Cruz et al., 2010; Conte et al., 2011; Mezzalira et al., 2012; Da Trindade et al., 2012; Carvalho et al., 2015; Fischer et al., 2019), em uma extensão de cerca de 60 ha, submetidos a diferentes ofertas de forragem e controle de estrutura da vegetação, onde a oferta de forragem é definida como a relação entre a



quantidade de matéria seca de forragem e carga animal por unidade de área. Expressa a relação forragem/animal inversa à pressão de pastejo (Allen et al., 2011).

O controle de oferta de forragem e da estrutura é realizado mensalmente, onde se realiza a medição da altura do pasto utilizando-se um bastão graduado denominado “sward-stick” (Barthram, 1985). São aferidos cem pontos por potreiro de forma a representar a vegetação presente no estrato inferior e concomitantemente mensurando a frequência de touceiras. A oferta instantânea foi determinada pela média da altura dos pontos, em um modelo construído com a base de dados do protocolo em questão, sendo a massa de forragem determinada de forma indireta através da média de altura do estrato inferior da pastagem. Na ocasião, também é realizada a avaliação do acúmulo de forragem, conforme metodologia proposta por Moraes et al., (1990), utilizando a técnica do triplo emparelhamento. Para maiores detalhes de manejo animal para ajuste de ofertas de forragem ver Da Trindade et al, (2012; 2016).

A vegetação da área experimental é constituída de duplo estrato em um ambiente característico irregular (*multistrata*) com alta diversidade de espécies vegetais (Overbeck et al., 2007; Andrade et al., 2019) dentro do bioma Pampa. A composição geral de espécies é representada principalmente (cobertura média) por *Paspalum notatum* (25,73%), *Andropogon lateralis* (9,73%), *Paspalum paucifolium* (9,69%), *Axonopus affinis* (6,60%), *Eryngium horridum* (3,98%), *Eleocharis loefgreniana* (3,34 %), *Centella asiatica* (3,27%), *Paspalum pumilum* (2,91%) e *Piptochaetium montevidense* (2,04%) (Pinto et al., 2019), ocorrendo predominância de gramíneas de ciclo estival, no estrato superior, nas áreas mais elevadas e drenadas, e nas áreas mais úmidas está presente a grama-tapete (*Axonopus affinis*) (Boldrini et al., 2006).

Foram utilizados como tratamento o gradiente contrastante de três ofertas de forragem, sendo elas: 4; 8-12 e 16% (kg MS/100 kg PV), sendo manejados os tratamentos 4 e 16%,

como oferta fixa ao longo do ano e o tratamento 8-12% como oferta variável, ou seja, 8% na estação da primavera e 12% no restante do ano.

O tratamento 4% é caracterizado por vegetação relativamente homogênea, ou seja, apresenta porte baixo, sem grande diferença quanto a sua estrutura, os tratamentos 8-12 e 16%, são considerados de oferta moderada e alta, respectivamente, caracterizados como mosaico heterogêneo, onde é possível encontrar estruturas de porte elevado (Cruz, 1998). Estas estruturas de porte elevado são denominadas de touceiras, geralmente gramíneas de hábito de crescimento cespitoso dominante onde a formação vegetal ocorre em touceiras, que resulta em uma estrutura compacta em relação à organização dos perfilhos na planta (Leith, 1978).

Utilizamos seis unidades experimentais, duas por tratamento, em relevos contrastantes (topo e baixada), com o intuito de capturar o efeito que os relevos proporcionam, como as distintas características ambientais e de microclima para a pastagem. As mensurações e coleta de dados ocorreu no período de 02 de janeiro até o dia 18 de dezembro de 2020, em intervalos de 15 dias, para que assim os dados compreendam as quatro estações climáticas, com 6 avaliações por estação do ano, totalizando 24 avaliações.

A área das unidades experimentais foi cercada e excluída ao pastejo, mantendo as unidades amostrais no decorrer de todo o período experimental. No entanto, para que a relação de oferta permanecesse adequada ao pretendido pelo estudo, a altura do dossel do estrato inferior foi mensurada e ajustada manualmente, de acordo com a altura real do dossel, realizada uma vez por mês pela ocasião do ajuste de carga animal. Ao centro da unidade experimental foi demarcado um metro quadrado que compreendia a vegetação característica do estrato inferior, e touceiras com as características médias do tratamento e relevo em que se encontrava. Todas as avaliações e coleta de dados foram realizadas dentro desta área.

Optamos por selecionar um “mix” de gramíneas de interesse, as espécies foram escolhidas de acordo com sua representatividade em termos de proporção e abundância dentro dos experimento (Boldrini et. Al, 2006; Pinto et. al, 2019), além de representarem os tipos funcionais a qual se pretende analisar (Cruz et al, 2010). As espécies selecionadas ao qual foi feita a abordagem através da análise morfogênica foram *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum* e *Andropogon lateralis*, no estrato inferior. E no estrato superior perfilhos de *Andropogon lateralis* e *Aristida laevis*, presentes em formato de touceira. A alta plasticidade do *Andropogon lateralis*, permite a sua presença tanto em formato de touceiras, quanto de perfilhos individuais, apresentando grande variação fenotípica, moldada pelo pastejo (Cruz et. al, 1998).

O tratamento 4% de oferta de forragem apresenta como característica a ausência de touceiras, por tanto não havendo perfilhos marcados no estrato superior. Outra particularidade deste experimento é que a espécie *Axonopus affinis* acabou se extinguindo da unidade experimental referente ao tratamento 8-12% devido a um forte déficit hídrico ocorrido no ano de 2020 seguido do inverno, quando isso ocorreu se continuou as coletas de dados normalmente com as outras espécies, no entanto para algumas variáveis do tratamento 8-12% para a estação da primavera não obtivemos valores suficientes desta espécie para análise.

As características morfogênicas foram mensuradas dentro da área demarcada por meio da técnica de perfilhos marcados (Davies et al., 1993, Carrere et al., 1997). Essa metodologia permite realização de medidas frequentes nas mesmas unidades amostrais, sem causar efeitos negativos decorrentes da manipulação dos mesmos (Hodgson, 1996; Grant e Marriott, 1994). Os perfilhos foram marcados com fio metálico escolhendo aqueles representativos da população. Foram marcados 20 perfilhos por unidade experimental, distribuídos entre as espécies em análise, sendo 10 perfilhos no estrato superior (5 para

*Andropogon lateralis* e 5 para *Aristida laevis*), e 10 perfilhos no estrato inferior (3 para *Axonopus affinis*, 3 para *Paspalum notatum* e 4 para *Andropogon lateralis*). A cada avaliação foi mensurado o comprimento e largura das lâminas verdes, avaliadas individualmente com a verificação do estágio de vida dessa folha: senescente, expandida ou em expansão, tomando como base a presença de lígula nas folhas.

Foram determinadas as taxas de alongação foliar e senescência para cada espécie. A taxa de alongação foliar, expressa em  $\text{cm}/^{\circ}\text{C}$ , unidade obtida pela divisão entre a soma térmica (ST) e os dias avaliados. A avaliação da taxa de alongação foi mantida até a completa expansão da folha, sendo obtida para cada intervalo de dias de observação pela diferença entre os comprimentos de lâmina foliar verde em expansão. A taxa de senescência foliar, também expressa em  $\text{cm}/^{\circ}\text{C}$ , foi calculada para cada intervalo de dias de observação, pela diferença de comprimento da porção verde das lâminas e da porção senescente, entre duas avaliações consecutivas, dividida pela soma térmica do período.

Também foi calculado o número de folhas verdes por perfilho (NFV), folhas novas surgidas durante o período de avaliação (NFN), folhas senescentes (NFS), folhas verdes que apresentaram senescência (NFVS) e número total de folhas (NFT).

Calculou-se a soma térmica acumulada (ST) entre os dias de avaliação para cada período experimental. A ST é o somatório das temperaturas médias diárias, obtidas por meio da média aritmética entre os valores diários de temperatura máxima e mínima, segundo a fórmula:  $ST = S[(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2]$  (Ometto, 1981; Bandinelli, 2003; Eggers, 2004). Para o cálculo da soma térmica se foi descontado 10 graus, considerado a média da temperatura base para gramíneas C4 (Quadros et al, 2009).

O filocrono foi determinado por meio de regressão linear entre o número de folhas e a soma térmica acumulada de cada período, a soma térmica, expressa em  $^{\circ}\text{C}$ , necessária para

que a planta emita uma folha é igual a  $1/b$ , sendo  $b$  o coeficiente angular obtido na regressão, além da taxa de aparecimento foliar.

A duração da alongação foliar (DEF), expressa em graus dias, foi obtida a partir do produto entre o número médio de folhas em expansão e o filocrono correspondente. A duração de vida da folha (DVF) também expressa em graus dias foi obtida pelo produto do número médio de folhas verdes por perfilho e o seu filocrono (Santos et al., 2013).

Foram coletadas 100 folhas por espécie e por oferta de forragem, sendo que o peso por unidade de comprimento consistiu em coletas de folhas expandidas e em expansão. As folhas coletadas foram mensuradas com régua e posteriormente, levadas à estufa com sistema circulação de ar forçado a 65 °C durante 48 horas. O peso das folhas, expresso em mg, foi dividido pelo seu comprimento, com o objetivo de se obter a relação peso:unidade de comprimento de lâmina foliar (mg de MS/cm).

O fluxo de biomassa foi composto por dois fatores, fluxo de crescimento (FC) e fluxo de senescência (FS). O fluxo de crescimento foi calculado a partir da taxa de alongação média por perfilho (TE), e o peso médio das folhas em expansão (PFE), multiplicada pela temperatura ( $T^{\circ}$ ) média diária do período de avaliação, multiplicado pelo número médio de folhas em expansão por perfilho ( $n$ ),  $FC = TE \times PFE \times T^{\circ} \times n$ . O mesmo procedimento foi utilizado para calcular o fluxo de senescência (FS), sendo que se usou a taxa de senescência por perfilho (TS) e o peso médio das folhas completamente expandidas (PFC), além da temperatura e do número médio de folhas, senescentes por perfilho, conforme a equação  $FS = TS \times PFC \times T^{\circ} \times n$ . As fórmulas foram usadas seguindo a metodologia descrita por Carrère et al (1997), também usados por Pontes (2004), Cauduro (2007) e Baldissera (2014). Por fim, o balanço dos fluxos (BF) de biomassa foi calculado por meio da diferença entre os fluxos de crescimento (FC) e de senescência (FS),  $BF = FC - FS$ .

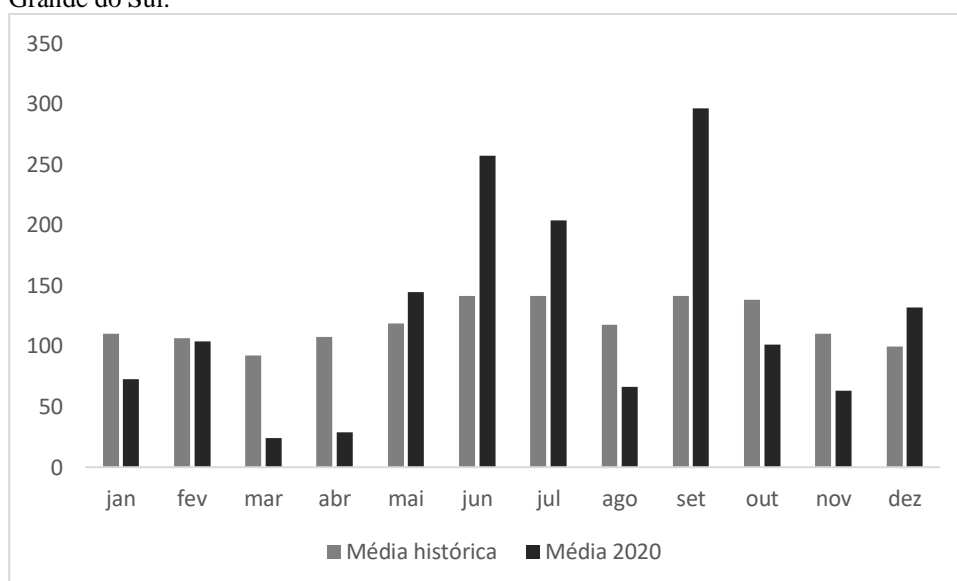
Os valores de temperatura máxima, mínima e média, usados para o cálculo das variáveis foi coletada dentro da área demarcada onde foram instalados sensores, para monitoramento de características de microclima, os sensores se localizavam, logo acima da vegetação da área. Estes sensores foram conectados a *data loggers* da HOB0®, equipados com o software HOB0ware, podendo ser usado para lançar, ler e plotar dados e ainda, verificar o status do registrador, filtrar e exportar dados.

O delineamento da área foi em blocos completos casualizados, com duas repetições, com parcela subdividida e medida repetida no tempo, sendo considerada o relevo como a parcela subdividida. Quando observadas diferenças, as médias foram comparadas pelo recurso *Lsmeans* no SAS, por meio do teste de *Tukey*. Foram realizados testes de seleção da estrutura de covariância, utilizando o critério de informação *Akaike* (AIC), para determinar o modelo que melhor representasse os dados. Foi adotado 5% como o nível de significância das análises. As análises foram realizadas com o auxílio de pacotes estatísticos do *software R*, onde foi usado modelos mistos, e o uso do LMER.

## RESULTADOS

As variáveis estudadas e os resultados foram obtidos a partir das mensurações realizadas em condições ambientais diversas, onde o protocolo experimental está sujeito as variações climáticas impostas pela sazonalidade das estações do ano. A figura 1 apresenta os dados de pluviosidade e o balanço hídrico do ano de 2020, com médias históricas do estado do Rio Grande do Sul e o acumulado mensal na área em estudo.

Figura 1: Acumulado mensal de pluviosidade no ano de 2020, e médias mensais históricas do estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: EEA/UFRGS; IRGA.

É apresentado a seguir os resultados em formato de tabela com o propósito de um melhor entendimento do comportamento dos resultados quando estes apresentam efeitos simples e interações, dividindo os resultados em estrato inferior e superior.

Tabela 1: Efeitos de tratamento de ofertas de forragem, espécie e estações do ano e interações entre esses fatores.

Variáveis	Estrato Inferior						
	Tratamento	Estação	Espécie	Tratamento/ Estação	Tratamento/ Espécie	Estação/ Espécie	Tratamento/ Estação/Espécie
Taxa de Elongação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Taxa de Senescência	ns	ns	ns	***	ns	ns	ns
Duração de Vida da Folha	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Duração da Elongação Foliar	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Verdes	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Novas	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Verdes que Senesceram	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Senescentes	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Totais	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Fluxo de Crescimento	ns	ns	ns	***	ns	***	ns
Fluxo de Senescência	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns

Variáveis	Estrato Superior						
	Tratamento	Estação	Espécie	Tratamento/ Estação	Tratamento/ Espécie	Estação/ Espécie	Tratamento/ Estação/Espécie
Taxa de Elongação	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
Taxa de Senescência	ns	***	**	ns	ns	ns	ns
Duração de Vida da Folha	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Duração da Elongação Foliar	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Verdes	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Novas	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Verdes que Senesceram	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Número de Folhas Senescentes	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Número de Folhas Totais	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fluxo de Crescimento	ns	ns	ns	**	ns	***	ns
Fluxo de Senescência	ns	***	***	ns	ns	ns	ns

“\*” indica a significância e o “ns” indica a não significância, todos os resultados passaram pelo teste de

*Tukey* a 5% de significância.

A variável taxa de alongação foliar para as espécies do estrato inferior apresentaram interação tripla entre: tratamento, estações do ano e espécies ( $P=0.0143$ ), onde as maiores taxas de alongação foram encontradas na primavera nos tratamentos de 8-12 e 16% de



oferta de forragem (tabela 2). Já para as espécies do estrato superior foi observada interação simples entre tratamento e estações do ano ( $P=0.0023$ ), onde as maiores taxas de alongação se deram no inverno e primavera (tabela 3).

Tabela 2: Médias de taxa de alongação foliar expressa em  $\text{cm}^{\circ}\text{C}$ , para as diferentes espécies do estrato inferior em função dos diferentes níveis de oferta de forragem e estações do ano.

Espécie	Tratamentos (%)		
	4	8.12	16
Verão			
<i>A. affinis</i>	0.0109	0.0114	0.0111
<i>P. notatum</i>	0.0114	0.0076	0.0084
<i>A. lateralis</i>	0.0103	0.0091	0.0092
Outono			
<i>A. affinis</i>	0.0134	0.0166	0.0164
<i>P. notatum</i>	0.0179	0.0153	0.0157
<i>A. lateralis</i>	0.0159	0.0158	0.0184
Inverno			
<i>A. affinis</i>	0.0264		0.0329 A
<i>P. notatum</i>	0.0272	0.0337	0.0229 B
<i>A. lateralis</i>	0.0214	0.0335	0.0401 A
Primavera			
<i>A. affinis</i>	0.0291 AB		0.0298 B
<i>P. notatum</i>	0.0344 A	0.0451 A	0.0456 A
<i>A. lateralis</i>	0.0238 B	0.0296 B	0.0432 A

Médias seguidas de letras diferentes em cada tratamento e estação do ano diferem entre si ( $P<0.05$ ). Tukey 5%

Tabela 3: Médias de taxa de alongação foliar do estrato superior expressa em  $\text{cm}^{\circ}\text{C}$ , em função dos diferentes níveis de oferta de forragem e estações do ano.

Estação do ano	Tratamentos (%)	
	8.12	16
Inverno	0.0758 Aa	0.0586 Ab
Primavera	0.0662 Aa	0.0685 Aa
Outono	0.0367 Ba	0.0368 Ba
Verão	0.0185 Ca	0.0201 Ca

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna e letras minúsculas na linha, diferem entre si ( $P<0.05$ ). Tukey 5%

Para a variável taxa de senescência, foi observada interação entre tratamento e estações do ano ( $P=0.0009$ ), para as espécies do estrato inferior, onde as maiores taxas de senescência foram encontradas no inverno, para os tratamentos de oferta moderada e alta, 8-12 e 16% respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4: Médias de taxa de senescência do estrato superior expressa em  $\text{cm}/^\circ\text{C}$ , em função dos diferentes níveis de oferta de forragem e estações do ano.

Estação do ano	Tratamentos (%)		
	4	8.12	16
Inverno	0.0251 Ab	0.0340 Aab	0.0413 Aa
Primavera	0.0210 ABa	0.0245 Ba	0.0308 Ba
Outono	0.0167 Ba	0.0166 BCa	0.0197 Ca
Verão	0.0139 Ba	0.0081 Ca	0.0085 Da

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna e letras minúsculas na linha, diferem entre si ( $P < 0.05$ ). Tukey 5%.

Para as espécies do estrato superior não se encontrou interações, tampouco obtivemos efeito de tratamento. No entanto encontrou-se efeito de espécie ( $P = 0.0028$ ), sendo que a *Aristida laevis* apresentou média superior a *Andropogon lateralis*,  $0.0593\text{cm}/^\circ\text{C}$  e  $0.0473\text{cm}/^\circ\text{C}$  respectivamente. Também se obteve efeito de estações do ano ( $P < 0.0001$ ), onde todas as estações difeririam entre si, sendo que o inverno foi onde se obteve a maior taxa de senescência ( $0.0835\text{cm}/^\circ\text{C}$ ), seguida da primavera ( $0.0625\text{cm}/^\circ\text{C}$ ), outono ( $0.0468\text{cm}/^\circ\text{C}$ ) e por fim com a menor taxa de senescência o verão ( $0.0205\text{cm}/^\circ\text{C}$ ).

A variável taxa de aparecimento foliar (folhas/GD) e filocrono foram analisadas separadamente por espécie (tabela 5), sendo que a taxa de aparecimento foliar somente apresentou diferença entre tratamentos para *Aristida laevis* ( $P = 0.0282$ ), sendo que o tratamento 8-12% foi superior ao 16%, apresentando médias de 0.0025 e 0.0017 respectivamente. Já para variável filocrono foram encontrados diferença entre os tratamentos para as espécies *Paspalum notatum* ( $P = 0.0294$ ) e *Andropogon lateralis* ( $P = 0.0082$ ) presentes no estrato inferior da pastagem e *Aristida laevis* ( $P < 0.0001$ ) presente no estrato superior.

Tabela 5: Valores de taxa de aparecimento foliar (folhas/GD) e filocrono (GD) para diferentes espécies em distintos níveis de oferta de forragem.

<i>A. affinis</i>		
Tratamento (%)	Tx. Aparecimento	Filocrono
4	0.0027	474
8.12		
16	0.0030	432
<i>P. notatum</i>		
Tratamento (%)	Tx. Aparecimento	Filocrono
4	0.0041	306 B
8.12	0.0036	366 AB
16	0.0034	398 A
<i>A. lateralis</i>		
Tratamento (%)	Tx. Aparecimento	Filocrono
4	0.0031	355 B
8.12	0.0027	457 AB
16	0.0025	503 A
<i>A. lateralis*</i>		
Tratamento (%)	Tx. Aparecimento	Filocrono
8.12	0.0027	480
16	0.0024	542
<i>A. laevis*</i>		
Tratamento (%)	Tx. Aparecimento	Filocrono
8.12	0.0025 A	475 B
16	0.0017 B	653 A

Espécies com \* são representantes do estrato superior da pastagem.

Médias seguidas de letras diferentes em cada tratamento diferem entre si ( $P < 0.05$ ). Tukey 5%.

Não se obteve diferenças significativas para as médias da variável duração da alongação foliar (DEF), tanto entre os diferentes níveis de oferta de forragem quanto para espécies do estrato inferior. A maior duração de alongação foliar do estrato inferior se deu para o tratamento 8-12%, e para espécie *Andropogon lateralis* (tabela 6).

Para o estrato superior também não se obteve efeito se espécie, no entanto encontramos efeito de tratamento ( $P = 0.0002$ ), onde o nível de oferta de forragem 16% foi maior que o 8-12% (tabela 6). Já a variável duração de vida da folha (DVF) apresentou diferença significativa somente entre os níveis de oferta de forragem, tanto no estrato inferior ( $P = 0.0097$ ), quanto superior ( $P = 0.0169$ ). Para o estrato inferior a duração de vida

da folha foi semelhante entre os tratamentos 8-12 e 16% e superior ao 4% (tabela 6). E no estrato superior o nível de oferta 16% se mostrou superior ao 8-12% (tabela 6).

Tabela 6: Duração de vida da folha (DVF) e duração da elongação foliar (DEF), valores expressos em graus dias, para diferentes espécies em distintos níveis de oferta de forragem e estratos da pastagem.

Estrato inferior		
Tratamento (%)	DVF (GD)	DEF (GD)
4	1228 B	614
8.12	1578 A	714
16	1429 AB	693
Espécies	DVF (GD)	DEF (GD)
<i>A. affinis</i>	1566	679
<i>P. notatum</i>	1306	660
<i>A. lateralis</i>	1363	682
Estrato superior		
Tratamento (%)	DVF (GD)	DEF (GD)
8.12	1260 B	642 B
16	1491 A	787 A
Espécies	DVF (GD)	DEF (GD)
<i>A. lateralis</i>	1308	681
<i>A. laevis</i>	1443	747

Médias seguidas de letras diferentes (na coluna), diferem entre si ( $P < 0.05$ ). Tukey 5%.

Entre os parâmetros de estágio foliar em estudo: número de folhas verdes (NFV), número de folhas novas que surgiram durante o experimento (NFN), número de folhas verdes que apresentaram senescência (NFVS), número de folhas senescentes (NFS) e número de folhas totais (NFT), obtivemos somente efeito de espécie para todas as variáveis, quando analisado o estrato inferior (tabela 7).

Tabela 7: Médias de número de folhas por perfilho em diferentes estágios foliares para diferentes espécies do estrato inferior.

Estágio foliar	Espécie			P*
	<i>A. affinis</i>	<i>P. notatum</i>	<i>A. lateralis</i>	
NFV <sup>1</sup>	3.56 A	3.53 A	3.05 B	<0.0001
NFN <sup>2</sup>	1.37 AB	1.71 A	1.25 B	0.0090
NFVS <sup>3</sup>	4.99 A	5.22 A	4.31 B	<0.0001
NFS <sup>4</sup>	2.82 AB	3.20 A	2.35 B	<0.0001
NFT <sup>5</sup>	6.38 A	6.73 A	5.43 B	<0.0001

<sup>1</sup>Número de folhas verdes; <sup>2</sup> Número de folhas novas; <sup>3</sup>Número de folhas verdes em senescência; <sup>4</sup>Número de folhas senescentes; <sup>5</sup>Número total de folhas por perfilho. Tukey (5%).

Estes mesmos parâmetros quando comparados para as espécies representantes do estrato superior apresentaram resultados bastante distintos, não apresentando qualquer diferença entre o número de folhas verdes (NFV). Foi observada diferença no número de folhas novas que surgiram (NFN), entre as espécies *Andropogon lateralis* e *Aristida laevis* ( $P=0.0004$ ), sendo que *A. lateralis* se mostrou superior para esta variável. Número de folhas senescentes (NFS) e número de folhas totais (NFT) apresentaram diferença entre os tratamentos de níveis de oferta de forragem,  $P=0.0010$  e  $P<0.0001$  respectivamente, sendo que para ambas as variáveis o tratamento 8-12% foi superior.

A única variável que apresentou interação foi número de folhas verdes que apresentaram senescência (NFVS), sendo constatado uma interação entre tratamento e espécie ( $P=0.0444$ ), onde somente a espécie *A. laevis* do tratamento 8-12% foi superior (Tabela 8).

Tabela 8: Médias de número de folhas verdes que apresentaram senescência por perfilho, nas espécies do estrato superior em diferentes ofertas de forragem.

NFVS	Tratamento (%)	
	8.12	16
<i>A. lateralis</i>	4.12	4.01
<i>A. laevis</i>	4.41 A	3.82 B

*Tukey (5%).*

Foram observadas interações para os fluxos de crescimento e senescência. Para o fluxo de crescimento do estrato inferior da pastagem foram encontradas duas interações, sendo, interação ente tratamento de níveis de oferta de forragem e estações do ano ( $P=0.0001$ ), onde o maior fluxo de crescimento foi obtido para o tratamento 16% na estação da primavera (1.903mgMS/cmLF), 20% maior que o menor fluxo de crescimento, encontrado para o tratamento 4% no verão (0.394mgMS/cmLF). A segunda interação do estrato inferior se deu entre espécie e estações do ano ( $P<0.0001$ ), onde o *P. notatum* durante a primavera apresentou o maior fluxo de crescimento (2.433 mg/cm LF) (tabela 9).

Quando analisadas as respostas para o estrato superior, este apresentou as mesmas interações para o fluxo de crescimento, sendo interação entre tratamento e estações do ano ( $P=0.0356$ ), e interação entre espécie e estação do ano ( $P<0.0001$ ). Os maiores fluxos de crescimento foram observados *A. lateralis* durante a primavera (7.451 mgMS/cmLF) e para o tratamento 16% também na primavera (4.77 mgMS/cmLF) (tabela 9).

Tabela 9: Fluxos de crescimento e senescência, apresentados por espécie e por tratamentos de níveis de oferta de forragem em função da estação do ano. Os valores são expressos em mg/cm de lâmina foliar.

Espécie	Fluxo de Crescimento				Fluxo de Senescência			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
<i>A. affinis</i>	0.702	0.615	1.220 A	1.748 B	1.334	2.01	3.806	5.582
<i>P. notatum</i>	0.423	0.551	1.034 AB	2.433 A	0.966	1.642	3.438	5.213
<i>A. lateralis</i>	0.431	0.513	0.826 B	1.295 C	0.455	1.13	2.926	4.702
Tratamento (%)								
4	0.394 c	0.435 c	0.902 b	1.701 a	0.838 d	1.513 c	3.354 b	5.085 a
8.12	0.565 c	0.606 c	1.073 b	1.871 a	0.882 d	1.558 c	3.354 b	5.129 a
16	0.596 c	0.637 c	1.105 b	1.903 a	1.035 d	1.711 c	3.507 b	5.282 a
Espécie								
<i>A. lateralis</i> *	1.938 A	3.181 A	4.972 A	7.451 A	4.681	9.806	15.759	19.601
<i>A. laevis</i> *	0.587 B	0.828 B	1.426 B	2.041 B	0.826	4.298	10.252	14.093
Tratamento (%)								
8.12*	1.29 d	2.03 c	3.22 b	4.76 a	2.510	7.620	13.580	17.420
16*	1.24 d	1.98 c	3.17 b	4.77 a	1.390	6.500	12.460	16.300

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na coluna e letras minúsculas na linha, diferem entre si ( $P<0.05$ ).

Espécies e ofertas de forragem com \* representam o estrato superior da pastagem.

Tukey 5%

O fluxo de senescência apresentou somente uma interação para o estrato inferior, onde a interação tratamento e estações do ano foi a única significativa ( $P=0.0054$ ), onde o fluxo de senescência do tratamento 16% durante a primavera se mostrou superior aos demais (5.282mgMS/cmLF) (tabela 9).

Quando feita a comparação de médias para o estrato superior não foram obtidas interações, mas sim efeito distintos. Efeito de espécie ( $P<0.0001$ ), onde o fluxo de senescência de *A. lateralis* (12.46mgMS/cmLF) foi superior ao fluxo de *A. laevis* (6.95mgMS/cmLF), sendo mais de 50% superior. O segundo efeito observado foi o efeito

de estações do ano, onde todas as estações diferiram entre si ( $P < 0.0001$ ), o fluxo de senescência durante a primavera foi superior (16.85mgMS/cmLF), seguido do inverno (13.01mgMS/cmLF), outono (7.05mgMS/cmLF) e pôr fim a estação em que se obteve o menor fluxo de senescência foi o verão (1.93mgMS/cmLF).

O fluxo de biomassa obtido através da diferença entre o fluxo de senescência e o de crescimento, apresentou valores negativos, independente da espécie, oferta de forragem ou época do ano, sendo que os fluxos de biomassa onde mais se teve perca de forragem foi obtido no estrato superior, nos meses de outono, inverno e primavera. Quando observado somente o estrato inferior os fluxos de biomassa onde se teve a maior perca de forragem foi durante a primavera, tanto para espécie, quanto para níveis de oferta de forragem (tabela 10).

Tabela 10: Fluxo de biomassa, apresentado por espécie e por tratamentos de níveis de oferta de forragem em função das estações do ano. Os valores são expressos em mg/cm de lâmina foliar.

Espécie	Fluxo de Biomassa			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera
<i>A. affinis</i>	-0.632	-1.395	-2.586	-3.834
<i>P. notatum</i>	-0.543	-1.091	-2.404	-2.78
<i>A. lateralis</i>	-0.024	-0.617	-2.1	-3.407
Tratamento (%)				
4	-0.444	-1.078	-2.452	-3.384
8.12	-0.317	-0.952	-2.281	-3.258
16	-0.439	-1.074	-2.402	-3.379

Espécie				
<i>A. lateralis</i> *	-2.743	-6.625	-10.787	-12.15
<i>A. laevis</i> *	-0.239	-3.47	-8.826	-12.052
Tratamento (%)				
8.12*	-1.22	-5.59	-10.36	-12.65
16*	-0.15	-4.52	-9.29	-11.53

Espécies e ofertas de forragem com \* representam o estrato superior da pastagem.

Tukey 5%

## DISCUSSÃO

É importante iniciar esta discussão trazendo a luz o grande déficit hídrico que ocorreu na região do protocolo experimental no primeiro semestre de 2020, onde registrou-se bloqueios atmosféricos sobre o sul do Brasil, e se observou uma diminuição drástica na entrada de umidade e conseqüentemente na ocorrência de chuvas (TAZZO et al., 2020). Registros de pluviosidade feito pela estação meteorológica presente na Estação Experimental Agronômica (EEA/UFRGS) (figura 1), apresentaram um déficit hídrico em torno de 30%, em relação à média histórica do estado do Rio Grande do Sul baseada em trinta anos de dados, 1981-2010 (Cardoso et. all, 2020). O primeiro semestre do estudo corresponde as estações de verão (janeiro, fevereiro e março) e outono (abril, maio e junho), o que se supões teve grande efeito nos resultados.

A única interação tripla encontrada neste estudo se deu para a variável taxa de alongação foliar para as espécies do estrato inferior, sendo que os resultados nos mostraram que durante as estações de verão e outono, onde foi constatado déficit hídrico, não se teve qualquer diferença entre espécies e níveis de oferta de forragem. Possivelmente o estresse causado pela falta de umidade impediu a captação das possíveis diferenças entre espécies em todos os tratamentos em estudo, pois as respostas morfológicas são limitadas quando há falta de recursos como escassez de água, as taxas de afilhamento são reduzidas, e as plantas persistem aumentando as taxas de sobrevivência, independentemente das estratégias de manejo adotadas (Sbrissia et al., 2009; da Silva et al., 2015).

Já quando observado o inverno, taxas de alongação apresentaram diferença entre as espécies, mas somente para o nível de oferta de forragem 16%, onde *A. affinis* e *A. lateralis* foram superiores a *P. notatum* (tabela 2). Podemos observar o aumento nas taxas de alongação para todas as espécies no inverno e primavera, apesar de o inverno apresentar predominantemente temperaturas abaixo do ideal para o crescimento de gramíneas, no



entanto, a pluviosidade e conseqüentemente a umidade do solo são maiores, o que em conjunto com o material morto após uma seca, pode ter liberado um aporte de nitrogênio no sistema, aumentando assim as taxas de alongação foliar, pois a umidade exerce influência direta na nitrificação, que pode ser retardada em condições extremas como secas (Moreira e Siqueira, 2006).

É importante lembrar que neste estudo o inverno é considerado como os meses de julho, agosto e setembro, podendo este último já apresentar temperaturas mais elevadas e ótimas para o crescimento. Esta característica torna os dados de inverno mais próximos aos encontrados na primavera, e se distancia das demais estações principalmente devido ao déficit hídrico ocorrido no verão e outono. Em termos gerais essa resposta se repete também em outras variáveis.

Durante a primavera as taxas de alongação diferiram entre as espécies, para todas as ofertas de forragem, com o *P. notatum* apresentando sempre a maior taxa de alongação entre os tratamentos, porém não diferindo do *A. affinis* no tratamento 4% e do *A. lateralis* no tratamento 16% de oferta de forragem. Isso se deve principalmente à característica do *P. notatum* relacionado a seu hábito de crescimento prostrado e a presença de lâminas foliares de tamanho pequeno, porém com alta renovação foliar (Quadros et. al., 2009).

Quando não se teve prejuízo por falta de umidade os valores obtidos para taxa de alongação do estrato inferior ficaram acima dos já encontrados em outros estudos (Eggers et al., 2004), também superiores aos valores encontrados por Santos (2014) para *P. notatum* onde se observou média de 0,024 cm/°C e *A. lateralis* com uma média de 0,014 cm/°C. Com exceção da primavera as médias das taxas de alongação encontradas neste estudo parecem se assemelhar mais com os resultados descritos por Cruz (1998), onde encontrou para *A. lateralis* 0,020 cm/°C na primavera e 0,022 cm/°C no verão.

O estrato superior onde se encontra as touceiras representadas neste estudo por *A. lateralis* e *A. laevis* apresentaram uma interação simples entre oferta de forragem e estações do ano, o que nos mostra que em uma observação temporal mesmo os perfilhos das touceiras são dinâmicos. A estação inverno foi a única que apresentou efeito de tratamentos (tabela 3), os perfilhos presentes em touceiras do tratamento 8-12% de oferta de forragem apresentaram maior taxa de alongação ( $0.0758 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$ ) em relação ao 16% ( $0.0586 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$ ) o que nos mostra que as touceiras presentes nesta tratamento, possivelmente pela sua menor estrutura e mais frequentemente pastejada, também apresente perfilhos com maior potencial de crescimento, pois a organização dos perfilhos dentro de touceiras pode resultar em estruturas compactas, com aumento ou diminuição da incidência de luz, alterando a taxa de crescimento de plantas (Hendon e Briske 1997).

Quando a interação é observada da ótica das estações do ano, o verão difere dos demais com a menor taxa de alongação, seguido do outono também diferindo das demais estações muito possivelmente, também afetado pelo déficit hídrico onde as touceiras optam por conservar recursos. Já o inverno e a primavera apresentam as maiores taxas de alongação e não diferem entre si (tabela 3). Os valores de taxa de alongação aqui encontrados vão ao encontro dos descritos por Santos (2013), onde em estudo das mesmas espécies caracterizadas como estrato superior encontrou valores de taxa de alongação de  $0.07039 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$  para *A. lateralis* e  $0.1612 \text{ cm}/^{\circ}\text{C}$  para *A. laevis*, sendo essas taxas de alongação maiores em relação ao estrato inferior uma característica dos diferentes tipos funcionais.

Quando observada a interação entre oferta de forragem e estação do ano para taxa de senescência das espécies do estrato inferior podemos observar que somente a durante o inverno obtivemos diferença entre os tratamentos, onde o 16% de oferta de forragem foi superior ao 4%, apesar de não haver diferença entre demais estações o tratamento 16% foi

sempre superior em termos de taxa de senescência para os demais possivelmente este resultado nos mostra que perfilhos presentes em altas ofertas de forragem apresentam maiores condições de restabelecimento e uso dos recursos, pois ofertas onde existe alta pressão de pastejo ocorre redução da biodiversidade, além da diminuição da produtividade sob condições específicas (Bai et al., 2007).

Quando observado dentro de cada tratamento as espécies do estrato inferior apresentaram maior taxa de senescência no inverno, para todas as ofertas de forragem, esta época é crítica pois as baixas temperaturas limitam o crescimento e elevam as taxas de senescência. O mesmo efeito se obteve para as espécies do estrato superior, onde a estação do inverno também foi superior em termos de taxa de senescência, segundo McIvor (1984), as características ambientais, principalmente déficit hídrico e temperatura, são os principais fatores que afetam a taxa de senescência.

Desta forma podemos conjecturar que neste estudo onde obtivemos características distintas para estações do ano, o inverno seguido pela primavera foram as estações que apresentaram os maiores crescimento, e é na estação de maior crescimento que muitas plantas têm seu potencial de desenvolvimento acentuado com significativa produção de massa (Santos et. all, 2013) e conseqüentemente maiores taxas de senescência. Além disso no inverno as menores médias de temperatura influenciaram as maiores taxas de senescência em detrimento das estações que apresentaram déficit hídrico como o verão que apresentou as menores taxas tanto para estrato inferior quanto superior.

Seguindo no estrato superior outro efeito além da estação do ano foi o efeito encontrado para espécie que cada vez mais indica a diferença entre os tipos funcionais das espécies formadoras de touceiras (Cruz et al., 1998), pois *A. laevis* ( $0.0593\text{cm}/^{\circ}\text{C}$ ) apresentou média superior a *A. lateralis* ( $0.047\text{cm}/^{\circ}\text{C}$ ) o mesmo comportamento registrado

por Santos (2013), no entanto com valores um pouco menores que os registrados pela autora para *A. laevis* (0.1625cm/°C) e para *A. lateralis* (0.0986cm/°C).

O filocrono apresentou valores um pouco acima dos já estabelecidos na literatura (tabela 5). Esse comportamento se deve possivelmente ao estudo ter sido realizado durante o período de um ano em estações climáticas contrastantes, diferentemente da maioria dos estudos com espécies de gramíneas nativas que são realizados na época de melhor crescimento, ou seja, na primavera e verão. Como o filocrono se dá a partir da taxa de aparecimento foliar estações do ano e condições climáticas adversas como baixa luminosidade, e estresse hídrico como seca severa ou excesso tendem a afetar a taxa de aparecimento foliar e conseqüentemente o filocrono (Duarte et. all, 2019).

No caso deste estudo postula-se que o estresse hídrico no primeiro semestre de 2020 tenha reduzido a taxa de aparecimento foliar conseqüentemente aumentando o filocrono anual de todas as espécies. Alguns autores encontraram valores de filocrono relativamente altos para espécies utilizadoras de recursos como Cruz (1998) e Trindade e Rocha (2002) para *P. notatum*, além de Santos (2014) que encontrou valores distintos de 395 °C na primavera e 355 °C no verão para a mesma espécie.

Apesar do filocrono se apresentar acima dos encontrados na literatura, é guardada a relação entre a taxa de aparecimento e filocrono com os tipos funcionais (Quadros et al., 2009; Cruz et al., 2010), com valores decrescentes de taxa de aparecimento e crescente de filocrono em direção ao representante do tipo funcional D, no caso deste estudo a *A. laevis*, semelhante ao ocorrido no estudo de Santos (2013) e Cruz., (2010). Outra consideração importante a ser feita e o filocrono do *A. affinis* ter apresentado valores maiores que *P. notatum* e semelhante a *A. lateralis*. Como representante do tipo funcional A (Cruz et al., 2010) era esperado que este apresentasse o menor filocrono, no entanto para esta espécie em específico o déficit hídrico, seguido do inverno teve um papel bastante devastador na

sua comunidade, ocorrendo a perda e a remarcação frequente de perfilhos, com efeito drástico sobre o tratamento 8-12% de oferta de forragem.

Filocrono não apresentou diferença entre tratamentos para todas as espécies, somente para *P. notatum* e *A. lateralis* no estrato inferior, onde o filocrono aumentou com aumento da oferta de forragem, sendo o 16% significativamente maior que o 4%, especialmente *A. lateralis* demonstrando a característica de já estar a se comportar como perfilho que pode vir a ser um formador de touceiras, aproximando-se de espécies do tipo conservadora de recurso, já no tratamento 4% realiza o comportamento de uma utilizadora de recurso. (Cruz et al., 2010).

No estrato superior *A. laevis* apresentou diferença entre tratamentos, também apresentando maior filocrono no 16% de oferta de forragem, indicando perfilhos que investem mais recursos em estender longas lâmina foliares como uma perfeita representante do tipo D, das conservadoras de recursos (Quadros et al., 2009 e Cruz et al., 2010). O menor filocrono no tratamento 8-12% possivelmente se deve a estrutura da touceira que representa esse tratamento, pois intensidades de pastejo moderadas resultam em touceiras menores, um padrão já reconhecido com características funcionais da planta (Díaz et., al 2007).

As características estruturais das gramíneas forrageiras guardam estreita relação com as características morfogênicas, as variáveis como duração do alongamento de folhas e duração de vida das folhas, determinam as principais características estruturais do pasto (Chapman e Lemaire 1993). Diferentemente do esperado a duração da elongação foliar e duração da vida foliar não apresentaram diferenças entre espécies do estrato inferior, possivelmente pelas características próximas entre as espécies em estudo e pela decisão de não se comparar estrato inferior e superior.

O efeito que se obteve foi de tratamento, tanto para espécies do estrato inferior quanto superior para duração da vida da folha, e para duração da elongação foliar no estrato superior apenas. No estrato inferior o tratamento 8-12% de oferta de forragem diferiu do 4% apresentando a maior duração de vida da folha, possivelmente indicando o fato das espécies do tratamento 4% estarem adaptadas ao pastejo frequente, assim investindo recurso para rápida produção de folhas e conseqüentemente menor duração da vida dessa folha (Eggers et al., 2004; Quadros et al., 2009; Cruz et al., 2010). Diferentemente do tratamento 8-12% onde o ambiente de pastejo moderado proporciona ao perfilho melhor condição de estrutura e a permanecer em estágio vegetativo aumentando a duração de vida da folha.

No estrato superior a diferença se dá para as duas variáveis com o tratamento de 16% de oferta de forragem superior ao 8-12% em ambas, por ser um tratamento em que ocorre menor distúrbio com o pastejo e por serem espécies conservadoras de recursos a expressão dessa característica de maior duração de vida e de elongação foliar corrobora as características do tratamento com formação de touceiras e duplo estrato (Boldrini et al., 1997; Thurow et al., 2009).

Outro efeito que pode estar agindo diretamente na duração de vida da folha são os teores de matéria orgânica e nitrogênio, pois proporciona maior velocidade de aparecimento, extensão e duração de vida das folhas (Mazzanti & Lemaire, 1994), e trabalhos anteriores indicam que há aumento nos teores de matéria orgânica com aumento da oferta de forragem (Bertol et al., 1998) e maiores ofertas de forragem como 12 e 16% proporcionam melhor qualidade ao sistema solo pastagem (Conte et al., 2011).

Outra característica estrutural que pode nos dar uma resposta interessante é o número de folhas por perfilhos em seus diferentes estágios de produção, pois caracterizam a área e os tratamentos em estudo. O número de folhas por perfilho apresentou respostas

bastante distintas para os diferentes estratos. O estrato inferior apresentou somente diferença entre espécies para todas as variáveis analisadas (tabela 7), sendo sempre maiores para *P. notatum* em relação ao *A. lateralis* o que mostra a alta adaptabilidade desta espécie (Santos et al., 2005), em diferentes tratamentos, e sempre semelhante ao *A. affinis* possivelmente isso nos revela a proximidade destas espécies como representantes do tipo funcional das utilizadoras de recurso, apesar de *A. lateralis* também se enquadrar neste tipo quando presente no estrato inferior. *A. lateralis* já se mostra com menor número de folhas, possivelmente já investindo em alongação foliar ao invés de novas folhas. *A. lateralis* mais uma vez se mostra uma espécie extremamente plástica e que pode apresentar variação fenotípica em relação ao estrato em que se encontra em uma pastagem moldada pelo pastejo (Cruz et al., 1998).

Em geral o número de folhas ficou abaixo do esperado para *P. notatum* e *A. affinis*, já para *A. lateralis* o número de folhas ficou próximo aos encontrados por Cruz (1998). Possivelmente essas diferenças se dá pela avaliação anual pois apesar do número de folhas por perfilho ser considerado uma característica constante para uma determinada espécie (Lemaire e Chapman, 1996), ele pode ser modificado através da ocorrência de estágio reprodutivo (Agnusdei, 1993), ou por meio de deficiências hídricas ou nutricionais e pode variar amplamente entre as espécies (Nabinger e Pontes 2001).

O estrato superior apresentou respostas bastante distintas, o número de folhas verdes (NFV), não apresentaram qualquer tipo de efeito. Já o número de folhas novas que surgiram durante o experimento (NFN) apresentaram efeito somente de espécie, sendo que a *A. lateralis* foi superior a *A. laevis* 1.37 folhas/perfilho e 0.952 folhas/perfilho respectivamente, essa diferença nos mostra a clara diferença entre os representantes dos tipos funcionais, onde *A. laevis* opta por pouca produção de folhas e maior uso dos

recursos para expansão de folhas e investimento em colmos e estruturas que formam touceiras.

Número de folhas senescentes (NFS) e número de folhas totais (NFT), apresentaram efeito de tratamento sendo que o tratamento 8-12% de oferta de forragem foi superior ao 16% para as duas variáveis, novamente isso nos mostra o possível efeito da estrutura das touceiras do tratamento 8-12%, touceiras relativamente menores, com maior área verde, também apresenta perfilhos com características estruturais mais interessantes, como maior número de folhas, e no caso das folhas senescentes, podemos conjecturar uma maior renovação nas folhas dos perfilhos. Por fim o número de folhas verdes que apresentaram senescência (NFVS) foi a única variável relacionada a folhas que apresentou interação entre espécie e oferta de forragem, sendo que a diferença se dá somente para *A. laevis*, onde novamente o tratamento 8-12% foi superior ao 16% de oferta de forragem.

O fluxo de biomassa apresenta uma boa forma de avaliar a dinâmica de tecidos da pastagem autores como Mazzanti e Lemaire (1994) e Carrère (1997) já utilizaram este tipo de avaliação. O fluxo de crescimento para o estrato inferior apresentou duas interações, a primeira entre tratamento e estações do ano, com o já esperado maiores valores para estação da primavera em todos os tratamentos, pois é a época de melhor condição de crescimento vegetal no Bioma Pampa (Nabinger et al., 2009), seguido do inverno, e por fim as estações onde foi verificado déficit hídrico verão e outono sem apresentarem diferença entre si.

A segunda interação para o estrato inferior foi a interação entre espécie e estações do ano, onde *A. affinis* e *P. notatum* foram superiores a *A. lateralis*. Em específico o inverno apresentou diferença apenas entre *A. affinis* e *A. lateralis*, com *P. notatum* semelhante as duas espécies. Isso demonstra claramente a dinâmica do tipo funcional onde as utilizadoras de recurso investem recurso em crescimento foliar ao primeiro sinal de



condições climáticas favoráveis. Já durante a primavera todas as espécies diferiram entre si, sendo *P. notatum* superior aos demais seguido de *A. affinis* e por fim *A. lateralis*, o fluxo de crescimento maior juntamente com a capacidade adaptativa e formação de estolões faz com que em muitas pastagens *P. notatum* seja uma das espécies predominantes e responsáveis pela maior fração da biomassa produzida (SANTOS, 2005).

O estrato superior apresentou as mesmas interações, a interação entre oferta de forragem e estações do ano se comportou da mesma forma que o estrato inferior, já a interação entre espécie e estações do ano apresentou diferença entre *A. lateralis* e *A. laevis* para todas as estações do ano, com *A. lateralis* sempre superior a *A. laevis*, possivelmente devido a característica de alta contribuição na produção de forragem (Damé et al., 1997), e resistência a geadas e rápida dispersão de plantas (INTA 1994), fazendo do fluxo de crescimento mesmo em formato de touceiras bastante superior, o que é esperado devido a plasticidade da espécie e ao tipo funcional em relação a *A. laevis*.

O fluxo de senescência apresentou para estrato inferior somente interação entre tratamento e estações do ano, comportando-se semelhantemente ao fluxo de crescimento, onde todas as estações diferiram entre si, com os maiores valores encontrados na primavera, seguidos de inverno, outono e verão, este comportamento já não é surpresa devido ao exposto anteriormente, no entanto a semelhança de comportamento entre os fluxos de crescimento senescência mostram a grande atividade destas espécies em épocas favoráveis ao crescimento, comportando-se claramente como espécies utilizadoras de recursos, mesmo a espécie *A. lateralis*.

Para o estrato superior o efeito se dá entre espécie e entre estação, sem qualquer interação, onde *A. lateralis* apresenta maior taxa de senescência em relação a *A. laevis*. Já o efeito de estação o comportamento é idêntico ao encontrado para as interações anteriores,

com primavera promovendo o maior fluxo de senescência seguido de inverno, outono e verão.

Por fim o fluxo de biomassa composto pela diferença entre o fluxo de crescimento e o fluxo de senescência, apresentou valores negativos para todas as estações, espécies e ofertas de forragem em estudo (tabela 10), sendo que os fluxos se tornam mais negativos a medida que os tipos funcionais avançam do A ao D, e as estações do verão a primavera, apresentando valores semelhantes entre as ofertas. Esse resultado provavelmente se deve primeiramente ao déficit hídrico no verão outono, seguido das baixas temperaturas do inverno, e da alta renovação dos perfilhos na primavera, onde o resultado expresso em miligramas de matéria seca por centímetro de lâmina foliar (mgMS/cmLF) é maior em folhas senescentes.

## CONCLUSÕES

Foram detectadas interações entre espécies, estações do ano e ofertas de forragem para praticamente todas as variáveis analisadas.

As ofertas de forragem alteram a dinâmica da morfogênese pois apresentam efeito direto e significativo na taxa de alongação foliar, taxa de senescência e duração de vida folha, bem como sobre os fluxos de crescimento e senescência, seja o efeito de forma direta ou em interação com as estações do ano. As características estruturais como número de folhas em geral tendem a apresentar efeito apenas de espécie.

A estação do ano de forma isolada apresentou pouco efeito entre as espécies, mas quando somada a oferta de forragem esta interação se mostrou presente, principalmente entre os fluxos de biomassa, onde a primavera apresenta os maiores fluxos de crescimento e senescência para todas as ofertas em estudo, ainda assim o fluxo final se mostrou negativo para todas as ofertas, estações e espécies em estudo, sendo a primavera a de maior fluxo negativo entre as estações e o 16% entre as ofertas de forragem.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Agnusdei, M. 1993. Efecto de algunos factores ambientales sobre los procesos morfogénicos. P.6. In: Curso de Atualización Técnica Enfoque Morfo-Fisiológico para el Manejo de Pasturas. Balcare.
- Allen, V. G. et al. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, Oxford, v. 66, n. 1, p. 2–28.
- Andrade, B. O., Bonilha, C. L., Overbeck, G. E., Vélez-Martin, E., Rolim, R. G., Bordignon, S. A. L., ... & dos Santos, E. D. (2019). Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. *Applied Vegetation Science*, 22(1), 168-184.
- Bai, Y. et al. 2007. Positive linear relationship between productivity and diversity: Evidence from the Eurasian Steppe. *Journal of Applied Ecology*, London, v. 44, n. 5, p. 1023–1034.
- Baldissera, T. C., Pontes, L. S., Barro, R. S., Giostri, A. F., Guera, K. C. S., Michetti, M., Silva, V. P. and Carvalho, P. C. F. 2014. Phyllochron and leaf lifespan of four C4 forage grasses cultivated in association with trees. *Tropical Grasslands*, 2: 12-14.
- Bandinelli, D. G.; Quadros F. L. F.; Gonçalves, E. N. and Rocha, M. G. 2003. Morphogenesis evaluation of *Andropogon lateralis* Nees with different levels of nitrogen in the four seasons of the year. *Ciência Rural* 33: 71-76.
- Barthram, G. T. 1985 Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984/1985. Penicuik: HFRO. p. 29–30.
- Bergamaschi, H., de Melo, R.W., Guadagnin, M.R., Cardoso, L.S., da Silva, M.I.G., Comiran, F., Dalsin, F., Tessari, M.L., Brauner, P.C., 2013. Boletins agrometeorológicos da estação experimental agrônômica da UFRGS: Série histórica 1970–2012.
- Bertol, I.; Gomes, K. E.; Denardin, R. B. N.; Machado, L. A. Z.; Maraschin, G. E. 1998. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v33:5 779-786.
- Bilenca, D.; Miñarro, F. 2004. Identificación de áreas valiosas de pastizal em las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (AVPs). Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre.

- Boldrini, I. I. 1993. Dinâmica de vegetação de uma pastagem natural sob diferentes níveis de oferta de forragem e tipos de solos, Depressão Central, RS. Thesis (D.Sc.). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS. Brasil.
- Boldrini, I. I. Campos do Rio Grande do Sul: Caracterização Fisionômica e problemática ocupacional. Porto Alegre: UFRGS, 1997. (Boletim do Instituto de Biociências, 56).
- Boldrini, I. I. Biodiversidade dos Campos Sulinos. In: Simpósio de Forrageiras e Produção Animal, 2006, Porto Alegre. **Anais...** Canoas: Ed. ULBRA; Porto Alegre: Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, 2006. p. 11-24.
- Boldrini, K. R.; Pagliarini, M. S.; Valle, C. B. 2009. Meiotic behavior of a nonaploid accession endorses  $x = 6$  for *Brachiaria humidicola*. *Genetics and Molecular Research*, Ribeirao Preto, v. 8, n. 4, p. 1444-1450.
- Briske, D. D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. p. 85-108. In: *Grazing Management: an Ecological Perspective*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Cardoso, L. S. et al. 2020. Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020. 57 p. (Circular: divulgação técnica, 6).
- Carrère, P.; Louault, F. and Soussana, J. F. 1997. Tissue turnover within Grass-clover mixed swards grazed by sheep. Methodology for calculating growth senescence and intake fluxes. *Journal of Applied Ecology* 34: 333-348.
- Cauduro, G. F. 2005. Morfogênese e dinâmica de acúmulo de forragem em pastagens de azevém anual manejadas sob intensidades e métodos de pastejo. Dissertação (M. Sc.). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS. Brasil.
- Cauduro, G. F.; Carvalho, P. C. F.; Barbosa, C. M. P.; Lunardi, R.; Nabinger, C.; Santos, D. T. and Velleda, G. L. 2007. Fluxo de biomassa aérea em azevém anual sob duas intensidades e dois métodos de pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36: 282-290.
- Carvalho, P. C. F.; Batello, C. 2009. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. *Livestock Science*, v.120, n. 1-2, p.158 – 162.
- Carvalho, P. C. F.; Bremm, C.; Mezzalira, J. C.; Fonseca, L.; Da Trindade, J. K.; Bonnet, O. J. F.; Tischler, M.; Genro, T. C. M.; Nabinger, C.; Laca, E. A. 2015. Can Animal Performance Be Predicted from Short-Term Grazing Processes? *Animal Production Science*. 55(3): 319–27.
- Chapman, D. and Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. p. 95-104. In: *International Grassland Congress*. Palmerston North.

- Conte, O.; Wesp, C. L.; Anghinoni, I.; Carvalho, P. C. F.; Levien, R. and Nabinger, C. 2011. Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 35: 579-587.
- Correia, F. L.; Marachin, G. E. 1994. Crescimento e desaparecimento de uma pastagem nativa sob diferentes níveis de oferta de forragem. *Pesquisa. Agropecuária Brasileira*. 29, 1617–1623.
- Cruz, F. P. 1998. Dinâmica de crescimento, desenvolvimento e desfolhação em *Andropogon lateralis* Nees. Dissertação (M.Sc.). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS. Brasil.
- Cruz, P.; Quadros, F. L. F.; Theau, J. P.; Frizzo, A.; Jouany, C.; Duru, Michel and Carvalho, P. C. F. 2010. Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the South of Brazil. *Rangeland Ecology e Management* 63: 350-358.
- Damé, P. R. V. et al. Efeitos de queima seguido de pastejo ou diferimento sobre a produção, qualidade, cobertura do solo e sistema radicular de uma pastagem natural. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 133-137, 1997.
- Da Silva, S. C.; Sbrissia, A. F.; Pereira, L. E. T. 2015. Ecophysiology of C4 forage grasses— Understanding plant growth for optimising their use and management. *Agriculture*, v. 5, n. 3, p. 598-625.
- Da Trindade, J. K.; Pinto, C. E.; Neves, F. P.; Mezzalira, J. C.; Bremm, C.; Genro, T. C. M.; Tischler, M. R.; Nabinger, C.; Gonda, H. L.; Carvalho, P. C. F. 2012. Forage allowance as a target of grazing management: implications on grazing time and forage searching. *Rangel. Ecol. Manag.* 65, 382–393.
- Davies, A. 1993. Capítulo 9. Tissue turnover in the sward. In: *Sward measurement handbook*, 2nd edition. University of Reading, Reading, Berks: A British Grassland Society publication. p. 183- 215.
- Diaz, S., Lavorel, S., McIntyre, S. U. E., Falczuk, V., Casanoves, F., Milchunas, D. G., ... & Landsberg, J. 2007. Plant trait responses to grazing—a global synthesis. *Global Change Biology*, 13(2), 313-341.
- Duarte, C. F. D.; Prochera, D. L.; Paiva, L. M.; Fernandes, H. J.; Biserra, T. T.; Cassaro, L. H.; Flores, L. S.; Fernandes, R. L. 2019. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.71, n.5, p.1669-1676.
- Eggers, L.; Cadenazzi, M. and Boldrini I. I. 2004. Phyllochron of *Paspalum notatum* FL. and *Coelorhachis Selloana* (HACK.) Camus in Natural Pasture. *Scientia Agricola* 61: 353-357.

- FAO. Pastoralism in the new millenium. FAO, Rome. FAO Animal Production and Health Paper no. 150. 2001.
- Farrié, B.; Jouven, M.; Launay, F.; Moreau, J. C.; Moulin, C. H.; Piquet, M.; Taveme, M.; Tcakérian, E.; Thénard, V. and Martin, G. 2015. Rangeland Rummy- A board game to support adaptive management of rangeland-based livestock systems. *Journal of Environmental* 147: 236-245.
- Fischer, F.M.; Bonnet, O.; Cezimbra, I.; Pillar, V.D. 2018. Long-term effects of grazing intensity on strategies and spatial components of functional diversity in subtropical grassland. in *Applied Vegetation Science*.
- Fraser, L.H., Pither, J., Jentsch, A., Sternberg, M., Zobel, M., Beierkuhnlein, C., Shang, Z.H., 2015. Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness. *Science* (80-. ). <https://doi.org/10.1126/science.aab3916>
- Gonçalves, E. N.; César, P.; Carvalho, D. F.; Kunrath, T. R.; Carassai, I. J.; Bremm, C.; Fischer, V. 2009. Plant-animal relationships in pastoral heterogeneous environment : process of herbage intake. *Revista Brasileira de Zootecnia* 3598.
- Grant, S. A. and Marriott, C. A. 1994. Detailed studies of grazed swards – techniques and conclusions. *Journal of Agricultural Science* 122: 1-6.
- Hendon B. C.; Briske D. D. 1997. Evaluation of a Herbivory-Sensitive Perennial Bunchgrass : Does It Possess an Achilles Heel? *Oikos*. Lund, v. 80, n. 1, p. 8–17.
- Hodgson, J. 1996. The frequency of defoliation of individual tillers in a setstocked sward. *Journal of the British Grassland Society* 21: 258-263.
- INTA. La calidad de dos forrajeras nativas: pasto horqueta e paja colorada - materia seca digestible. *Noticias y comentarios. Corrientes : Estacion Experimental Agropecuaria Mercedes*, 1994. v. 298, p. 13.
- Leith, H. 1978. Primary productivity in ecosystems: comparative analysis of global patterns. In *Patterns of primary productivity in the biosphere*. Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Publishers, Stroudsburg, Pa. pp. 300–321.
- Lemaire, G. and Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. p. 3-36. In: *The Ecology and Management of Grazing System*. CAB International, Wallingford.
- Maraschin, G. E. 1993. Perdas de Forragem sob Pastejo. In: 2 Simpósio sobre Ecosystema de Pastagens (eds. Favoretto V, Rodrigues LRA & Reis RA). FAPESP-FCAV, Jaboticabal, SP, pp. 166-190.
- Mezzalira, J. C.; Carvalho, P. C. F.; Da Trindade, J. K.; Bremm, C. 2012. Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. *Ciência Rural*, v.42, n.7.

- Mazzanti, A. and Lemaire, G. 1994. Effect of nitrogen fertilization upon herbage production of tall fescue sward continuously grazed by sheep. Consumption and efficiency of herbage utilization. *Grass and Forage Science* 49: 352-359.
- McIvor, J. G. 1984. Leaf growth and senescence in *Urochloa mosambicensis* and *U. oligotricha* in a seasonally dry tropical environment. *Australian Journal of Agricultural Research* 35: 177-187.
- Modernel, P.; Rossing, W. A. H.; Corbeels, M.; Dogliotti, S.; Picasso, V.; Tittonell, P. 2016. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environmental. Research. Letters*. 11 (2016) 113002.
- Moojen, E. L.; Maraschin, G. E. 2002. Potential production of a Southern Brazil rangeland submitted to forage on offer levels. *Ciência Rural* 32: 127-132.
- Moraes, A.; Moojen, E. L.; Maraschin, G. E. 1990. Comparação de métodos de estimativa de taxa de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes 55 pressões de pastejo. In: REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27., 1990, Campinas. Anais [...]. Piracicaba: FEALQ, 1990. 332 p.
- Moreira, F. M. S. & Siqueira, J. O. 2006. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA. 2º edição, cap 7, p. 353.
- Nabinger, C. and Pontes, L. S. 2001. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura de pasto. p. 34. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Piracicaba. Anais... Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiros, p. 755-771.
- Nabinger, C.; Carvalho, P. C. F. Ecofisiología de sistemas pastoriles: aplicaciones para sustentabilidad. *Agroscience*, v.13, n. 3, p. 18-27, 2009.
- Neves, F. P.; Carvalho, P. C. F.; Nabinger, C.; Jaques, A. V. Á.; Carassai, I. J.; Tentardini, F. 2009. Estratégias de manejo da oferta de forragem para recria de novilhas em pastagem natural. *Rev. Bras. Zootec.* 38, 1532–1542.
- Ometto, J.C. 1981. Bioclimatologia vegetal. *Agronômica Ceres*. São Paulo, p. 440.
- Overbeck, G. E. et al. 2007. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Amsterdam, v. 9, n. 2, p. 101-116.
- Pinto, C. E., Wallau, M., Boldrini, I. I. 2019. Estrutura da vegetação e composição florística. In *Nativão + de 30 anos de pesquisa em campo nativo* (pp. 16-20). Porto Alegre, RS.



- Pontes, L. S.; Nabinger, C. and Carvalho, P. C. F. 2004. Variáveis morfogênicas e estruturais de azevém anual (*Lolium multiflorum Lam.*) manejado em diferentes alturas. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33: 529-537.
- Quadros, F. L. F.; Trindade, J. P. P. and Borba, M. 2009. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. p. 206-214. In: *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília-DF.
- Santos, A. B.; Quadros, F. L. F.; Confortin, A. C. C.; Seibert, L.; Ribeiro, B. S. M. R.; Severo, P. O.; Casanova, P. T. and Machado, G. K. G. 2014. Morfogênese de gramíneas nativas do Rio Grande do Sul (Brasil) submetidas a pastoreio rotativo durante primavera verão. *Ciência Rural* 44: 97-103.
- Santos, M. E. R.; Fonseca, D. M. and Gomes, V. M. 2013. Relationship between morphogenesis and tiller dynamics in signalgrass pastures. *Bioscience Journal* 30: 201-209.
- Santos, R. J. 2005. Dinâmica de crescimento e produção de cinco gramíneas nativas do Sul do Brasil. *Dissertação (M.Sc.)*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. RS. Brasil.
- Sbrissia, A. F.; Da Silva, S. V.; Nascimento Júnior, D. 2009. Crescimento da planta forrageira: aspectos relativos ao consumo e valor nutritivo da forragem. In: *SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM*. Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ. V. 25. p 37-59.
- Tazzo, I. F. et al. 2020. Condições meteorológicas ocorridas em fevereiro de 2020 e situação das principais culturas agrícolas no estado do Rio Grande do Sul. *Comunicado Agrometeorológico, Porto Alegre*, n. 10, p. 617, fev. 2020.
- Thurrow, J. M.; Nabinger, C.; Castilhos, Z. M. S.; Carvalho, P. C. F.; Medeiros, C. M. O. and Machado, M. D. 2009. Estrutura da vegetação e comportamento ingestivo de novilhos em pastagem natural do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38: 818-826.
- Trindade, J. P. P. and Rocha, M. G. 2002. Rebrotamento de capim caninha (*Andropogon lateralis* Nees) sob o efeito de pastejo

### CAPÍTULO III

## 6 A LONG-TERM TRIAL ON FORAGE ALLOWANCE EFFECTS ON PRODUCTION STABILITY OF A NATURAL GRASSLAND ECOSYSTEM

Jonatas Cezar da Silva<sup>1</sup>, Paulo César de Faccio Carvalho<sup>1</sup>, Lidiane Raquel Eloy<sup>1</sup>, Pedro Arthur de Albuquerque Nunes<sup>1</sup>, Carolina Bremm<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Forage Plants and Agrometeorology, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS 91540-000, Brazil. <sup>2</sup>Department of Agricultural Diagnosis and Research, Department of Agriculture, Livestock and Irrigation, Porto Alegre, RS, Brazil.

### ABSTRACT

The correct management of natural grasslands seeks to add high productive potentials and environmental stability to ecosystems to perpetuate ecosystem services and assure food security. The stability and production averages of natural grassland submitted to different forage allowances, with five treatments 4, 8, 8-12, 12, and 16% (kg DM 100kg BW<sup>-1</sup>) were measure. A 17-year-old database of a long-term natural grassland protocol in southern Brazil, was used. The production stability of the forage mass and total forage production variables were higher in low allowances (4 kg DM 100 kg BW<sup>-1</sup>), however with low production rates, in contrast, the variables live weight gain and live weight gain per area showed greater stability in high forage allowance (16 kg DM 100kg BW<sup>-1</sup>), but with a decrease in production caused by low stocking rate. In natural grassland, the management of moderate forage allowances (8-12 kg DM 100 kg BW<sup>-1</sup>) assures the best productive results, in addition to provide the best balance of stability between vegetation and animal production variables.

## INTRODUCTION

Natural grasslands can be found in different climate conditions being present in all continents around the world. These ecosystems show great diversity and complexity making them very resilient [1]. This global distribution gives us an idea of the resilience and adaptability of this ecosystem, being composed of plant and animal species, coexisting, and interacting with the environment in a system of high degree of complexity defined by climatic disturbances [2]. Natural grasslands contain around ten thousand species in about 800 genera in *Poaceae* family, only [3].

The terminology pasture can be used to define ecosystems where the predominant vegetation are mainly grasses, but also some similar species as shrubs that can be used for livestock and animal wildlife production [4]. These ecosystems are excellent alternatives for animal production, combining low cost of production with the maintenance of the ecosystem, being sometimes the best option for feed animals in areas with difficult access for agricultural implements [5], contributing social, environmental, and economic for farmers [6], being possible to combine high levels of provision of ecosystem services and meat production [7].

The pampa Biome includes pastures present in some regions of Argentina, savannas in Uruguay and the state of Rio Grande do Sul in Brazil [3]. This Biome has an excellent vocation for grazing, has between 400 and 500 species of *Poaceae* and 250 species of *Fabaceae* [34], and the climatic conditions allow the coexistence of grasses with C3 and C4 metabolism [3].

These regions in South America, unfortunately, have been suffering great losses, the vegetation covering these areas has undergone changes over time, with a significant reduction in vegetative vigor [9], for example only 36% of the original area present in southern Brazil remains [10]. The reasons why this ecosystem suffers from the loss of its

original covering are diverse, but certainly one of the most important is the change in land use [11] with strong agricultural expansion and implantation of monocultures. Another factor is the mischaracterization of the environment, mainly due to the overgrazing [12], leading the ecosystem to a cycle of degradation and low productivity [13], which becomes the reason for the implantation of new monocultures. Projections indicate an increase in the world population of around 25%, reaching 9.8 billion people by 2050 [14], increasing food production is necessary. However, systems based on monocultures and highly dependent on inputs, have high environmental costs [15, 16]. Equally unsatisfactory, animal production on degraded pastures or which do not offer the best productive scenario, are highly sensitive in relation to environmental variations, and the scenarios project an increase in the frequency and severity of droughts and intense rains [17]. We must guarantee the maintenance or recovery of these pastures in conditions close to the ideal, although the management of these environments is extremely complex [18], with the objective of obtaining the ecosystem services provided by livestock systems, based on pastures.

Studies on natural grasslands have shown the management of moderate allowances and intensities are more productive, with less impact on species diversity, and on the emission of greenhouse gases [19, 20, 21, 22, 23, 24]. These positive points are intensified if these contributions remain in the long term, in viable and stable systems. Stability in ecological and statistical terms refers to concepts such as invariability [25], resistance and resilience [26,27]. In the productive context, the concept of stability is used mainly as a criterion to measure the temporal or spatial invariability of specific characteristics [28]. The stability of productive systems is fundamental in the climate change [29], as it reduces economic predictability and risk [28].

The objective of this study was to evaluate the production stability of a long-term protocol based on a natural grasslands ecosystem with different grazing management adjustments, through the regulation of forage allowances, submitted to a variety of environmental conditions over time, testing its productive potential as a strategy for the conscious use of natural resources. Our hypothesis is the use of moderate and high forage allowance provides production stability and the maximum productive potential, to the natural grassland ecosystem. This hypothesis was tested using a database of a long-term protocol from southern Brazil, where productive indexes of a natural grasslands were measured. Mining data from long-term trials offer opportunities to assess the performance and stability of the main indicators of cultivation, pasture and animal [30]. The results presented here provide an insight into production stability in the use of the resources of a natural ecosystem capable of being productive, resilient and sustainable, as it guarantees important environmental services such as conservation of water resources, availability of pollinators and provision of genetic resources [31].

## **METHODS**

### **Experimental design and variables studied**

The experimental protocol started in 1986, at the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul (lat 30 ° 05'S, long 51 ° 40'W and 46 m above sea level [a.s.l]) in Brazil. It is inserted in the Pampa biome, comprising natural grasslands in an extension of approximately 60 hectares, and the size of the paddock is approximately 4.5 hectares. These natural grasslands represent phytophysionomy of the vegetation found in the Pampa biome [32], in a constitution forming a double stratum [33], the principal grasses present are of the genre: *Andropogon*, *Aristida*, *Axonopus*, *Bothriochloa*, *Briza*, *Bromus*, *Panicum*, *Paspalum* and *Stipa*, there are also legumes of the genre *Adesmia*,

*Desmodium*, *Mimosa*, *Macropitilium*, *Trifolium*, among others [34]. The four seasons are well defined with cold and rainy winter, and hot and dry summer, the climate is humid subtropical (classification Cfa, Köppen), with annual rainfall of 1440 mm, generally well distributed throughout the year. The predominant soil is Argisol Red Dystrophic [35].

The experimental design was organized in randomized blocks with two replications, where the soil type was used as a criterion for blocking. Since its implantation, the experimental area has been managed in forage allowance levels, where four treatments were compared, 4, 8, 12, and 16% kg of dry matter (DM) per 100 kg<sup>-1</sup> of live weight. In the year 2004, the treatment 8-12% was implanted, which differs from the others because it is not managed with a fixed forage allowance throughout the year, this treatment is managed with a 8% forage allowance during spring and 12% in other seasons. The management of the experimental area was carried out every 28 days following the previously technique described [21], where the forage allowance was controlled using the “put and take” technique [36], keeping the experiment under stocking of cattle, where three animals remained permanently in the experimental units. The animals used during in experiment were heifers and steers from crosses between Angus, Hereford and Nellore breeds, with variable initial weight ranging from 180 to 250kg. The animals were weighed monthly, preceded by a 12-hour fasting.

Five production indicators of the natural grassland ecosystem were evaluated: forage mass; total forage production; stocking rate; live weight gain and live weight gain per area. For this experiment was used a database from 2004 to 2021, totaling 17 years, was chose to analyze only the period of greatest production that starts in September with the beginning of spring until March of the following year with the end of summer (180 days), this interval was called “period” in the analyzes, and provides us with more robust data and with fewer failures over the years, it is also marked by the peak of vegetation and animal

production, in contrast to autumn / winter, where primary production faces a known seasonality [21, 34, 37, 38], with minimum production values, due to the decrease in temperature and solar radiation and the predominance of C4 grasses [39].

Periods that showed less than 120 evaluation days (65% of the period) were removed from the analysis. The periods from September 2008 to March 2009 and September 2009 to March 2010 were excluded for all variables, for total forage production the periods from September 2005 to March 2006 and September 2018 to March 2019 were excluded. The periods from September 2010 to March 2011, September 2012 to March 2013 and September 2020 to March 2021 were removed for the variable live weight gain per area.

The forage mass (kg dry matter per ha<sup>-1</sup>) was determined for the lower strata of the pasture every 28 days following the double sampling methodology [40], this methodology was used in several experiments carried out within this protocol [22, 23, 24, 43, 44]. At the time of the double sampling assessments, height data was also collected using the “sward stick” [43], over time a database was built relating height and forage mass making it possible to change the methodology in the estimation of mass from the year 2018, where 100 points of height was collected per experimental unit in a systematic walk, generating the average height of the lower stratum, thus defining the forage mass.

Total forage production (kg dry matter per ha<sup>-1</sup>) was calculated by averaging the accumulation rates for the period (kg dry matter per day<sup>-1</sup>) and then multiplied by the number of days the data were collected, when the number of days did not reach 180, a weighting was made. The accumulation rate was calculated every 28 days only in the lower stratum, using four exclusion cages per experimental unit [44,45].

The variable stocking rate (kg live weight per ha<sup>-1</sup>) was obtained through the relationship between the total weight of the animals and the area of the experimental unit, after the insertion or removal of regulating animals to maintain the treatments. The data



referring to live weight gain ( $\text{kg live weight per animal}^{-1} \text{ per day}^{-1}$ ), was calculated by the difference of the individual weight of the testers animals between the weighings. The gain per area was composed by the product between the average live weight gain of the testers by the number of animals (calculated through the stocking rate divided by the average weight of the animals) and then multiplied by the number of days elapsed between weighings, finally the data used in the analysis live weight gain per area ( $\text{kg live weight per ha}^{-1}$ ) it was obtained by adding the average gains per area within the period, when the number of days in the period did not reach 180, a weighting was made.

### **Statistical analysis**

All variables were analyzed using software R version 3.6.1 [46], the data for the forage mass, stocking rate and live weight gain were analyzed using the lme4 package for mixed linear models [47] with treatment as fixed effect and period and evaluation as random effects (factor  $\sim$  treat + (1 | period: avaluation)). For the variables total forage production and live weight gain per area, a different model was used, with treatment as fixed effect and period as random effect (factor  $\sim$  treat + (1 | period)), also analyzed using the lme4 package. Different models were tested for the variables, the model was chosen was always the one with the lowest AIC value (Akaike information criterion) [48].

Analysis of variance (ANOVA) was performed for all variables under study, when significant effects were detected, the treatment means were compared using the Tukey test with a 95% confidence level using the emmeans package [49]. The homogeneity of variance and normality were visually verified, tested with quantile-quantile graphs using the R car package [50], without the need for transformation of the residues being detected.

We used four different indicators to evaluate production stability for the five variables under study. Production range characterizes the amplitude of minimum and maximum

production, in a series of temporal data, other indicators used were coefficient of variation (%), standard deviation [51,52] and Finlay and Wilkinson's stability metric (FW) derived from the linear regression of treatment yield on the mean yield of the location/year, or Environmental Index (EI), [50, 53].

The stability assessment was performed through the regression analysis of the detrended production on EI, based on this regression, can establish that the stable systems are those that present the smallest slope, being considered less susceptible to environmental changes [30]. For the calculation of the coefficient of variation, standard deviation and FW slope, were use detrending data, these metrics were compared and used to determine the overall stability rank. Long-term linear trends potentially generated by treatment are removed in detrending, considering only the variability of the residues around the treatment average. Data were detrended by removing treatment effects and linear time trends. The detrended data were analyzed according to the environmental index (EI) for each year and treatment. The EI was calculated as the average production of all treatments for each period [86].

The R multcomp package [86] was used to calculate the FW regressions slope, using general simultaneous tests. Forage allowance treatments were compared using the Tukey test, with a 95% confidence level ( $\alpha = 0.05$ ). We used R agricolae package [89], for the stability indicators: production range, coefficient of variation and standard deviation. Within each indicator, treatments were ranked from the lowest to the highest value, where the lowest rank represents greater stability, regardless of statistical significance [30].

Finally, the production potentials were calculated based on the expected responses for the lowest and highest EI values, being performed for each studied variable [53, 54]. To test treatment effects on production potentials, Tukey's test was performed with a

significance level of 95%. The analyzes were carried out following a methodology previously used [87].

## **RESULTS**

### **Mean production and trends.**

Forage mass showed a difference between treatments ( $p < 0.001$ ) where the increase in forage allowance reflects increase in forage mass averages (table 1). The total forage produced was not affected by the different forage allowances ( $p = 0.3437$ ). Stocking rate showed a difference between treatments ( $p < 0.001$ ), with the pattern between averages and forage allowances behaving in an inverse way, where the average stocking rate decreases with the increase in forage allowance. The variables associated to weight gain also showed differences, the variable live weight gain showed an increase in averages with increased forage allowance ( $p < 0.001$ , table 1), in relation to live weight gain per area, treatment 4% forage allowance was lower ( $p < 0.001$ , table 1) in relation to the other treatments.

### **Production stability**

The production of forage mass was more stable when the pasture was managed in low forage allowances (4 and 8%), according to the overall stability rank classification (Table 1). The treatments of low forage allowance were significantly more stable in relation to the treatment of high allowance, with intersection between them, for production range ( $p = 0.015$ ), the treatment 4% was like 8% and 8-12%, and lower in relation to 12 and 16%, treatments 8, 8-12 and 12% were similar to each other, and treatment 16% was higher in relation to 4 and 8%. For the standard deviation metric ( $p = 0.003$ ), the forage allowance 4% was lower when compared to 8-12, 12 and 16%, 8 and 8-12% were like each other and

12% did not differ from 8-12 and 16%, finally the allowance 16% was higher in relation to 4, 8 and 8-12%. The treatments with moderate and high forage allowances were more sensitive to environmental gradients (FW slope > 1, table 1, fig 1), presenting the worst stability metrics for coefficient of variation (%), standard deviation and production range, 16% was the least stable treatment (Overall stability rank = 4.5, table 1).

Low forage allowances (4 and 8%) were more stable for the total forage production, when analyzed by the overall stability rank, the FW slope of the 8% treatment was in fourth place (FW slope = 1.20, table 1), therefore more sensitive to environmental variations, in contrast to the 12% forage allowance, as presented the second lowest slope (FW slope = 0.95, table 1), with intermediate assessments in the other metrics.

The variables related to animal production showing greater stability in 12 and 16% forage allowances. Stocking rate was more stable for treatments 16 and 12% respectively, three treatments showed FW slope lower than one: 16% = 0.57, 12% = 0.86 and 8% = 0.61 (table 1), although the 8% treatment is more stable in relation to environmental variations, it presents worse stability metrics mainly for production range and standard deviation (table 1), placing it in third place in the overall stability rank.

Live weight gain and live weight gain per area behaved similarly, both did not show significant differences between the averages of the stability metrics and presented the treatments of low forage allowance (4 and 8%) as less stable.

### **Minimum and maximum production potentials.**

The variable forage mass showed significant differences, both for the minimum and maximum productions (table 2), and in both indicators, the behavior was the same, the production potentials increased as the forage allowance increased. For the minimum production potential, the treatment 4% was lower in relation to the others, 8, 8-12 and

12%, that were like each other, and 16% was higher in relation to the 4, 8 and 8-12%.

Regarding the maximum production potentials, 4% was significantly lower in relation to moderate and high allowance, while 16% was higher in relation to the others. The variable total forage production showed a significant difference only for the maximum production potential, with the treatment 4% lower than the others. This variable presenting the lowest and the highest productive potential for the treatment 8-12%, making it the treatment with the greatest amplitude of production potentials between the treatments.

The stocking rate also showed differences for both indicators, and for both the treatment 4% was higher than the others. The treatments 8, 8-12 and 12% present a clear equity, values for the treatment 16% is identical for the two production potentials, do not showing difference to the 12% treatment and different from the other forage allowance (fig 2).

Considering the productive potentials of weight gain, similar trends were observed for the two variables in relation to the minimum productive potential, presenting an increase as the forage allowance increases, being that for the variable live weight gain the treatment 4% was lower in relation the 8-12, 12 and 16% did not differ from each other, and the treatment 8% was lower compared to 12 and 16%. Live weight gain per area, the only treatment to differ was 4%, being lower in relation to the others (table 2). It is important to note that, for these two variables, the lowest productive potential of the 4% treatment has negative values. The maximum productive potential of live weight gain is significantly different in 4%, being less than the others, and there is no difference between the other treatments for the variable live weight gain per area.

## DISCUSSION

In a context of high demand for food and the search for sustainable use of areas destined for production, it is necessary to take into consideration, not only the search for greater productive metrics but also prioritize strategies that assure the health of natural resources in the long term.

Pasture management at moderate to low intensities was more productive for all variables, however high grazing intensities favored the stability of vegetation indices (forage mass and total forage production), and low grazing intensities favored the stability of production related to animal gain (stocking rate, live weight gain and live weight gain per area) (table 1).

The productive results were different for the two variables related to vegetation production, while the total variable forage production showed no difference between treatments, forage mass showed differences for all the forage allowance under study. Data collection was carried out in the spring-summer period where the large proportion of annual vegetation production in southern Brazil is concentrated [57], in this region, seasonality in the spring-summer period is mainly related to rainfall variability, [58,59] which differs from the annual seasonality that is due to temperature and radiation variability, the probable being responsible for the non-significant result for the averages of the total forage production, since although the treatments have an effect on the structure of the pasture, as they promote variations in the canopy characteristic [60] by printing double strata characteristics [34], the data collected for this variable, they are carried out in the lower strata of pasture, that is, between tussocks, where the amplitude of heterogeneous spatial characteristics is reduced [61].

Forage mass is also obtained in the lower strata of the pasture, however, different from total forage production, which is the average accumulation of pasture in the period under

study, this variable represents a monthly image of the forage mass offered to the animals, with a wider sampling within of the experimental unit. The increasing linear behavior in relation to forage allowances ensures that pasture management goals are being met.

High grazing intensities represented by the 4% forage allowance treatment obtained low performance in most of the productive metrics, the poor performance in natural grassland under high grazing intensity has been known and documented for a long time [19,62]. Only the stocking rate variable was high, however, ecosystems with low forage production and low individual performance are not desired, as they lead to a cycle of environmental degradation and low production rates. The increase in the number of animals in an area is the main factor causing overgrazing, further degrading the pastoral environment [24]. In Brazil, most of the pastures suffer from inadequate management [63], this scenario was still helped by mistaken public policies that establish minimum stocking rates as a productivity metric [63], unfortunately becoming the reality of most natural grassland in the south of the country [24], overgrazing is also considered to be one of the main causes of environmental changes in Uruguay's natural grasslands [9].

High production stability for the forage mass and total forage production metrics in low forage allowance could be credited to overgrazing, since high grazing intensities like the 4% treatment are responsible for drastic changes in the pasture structure, as it selects species with adapted functional strategies [23]. The 4% forage allowance is responsible for grant the homogeneous characteristic pasture, mainly with small grasses, highly adapted to grazing, with prostrate and stoloniferous characteristics, where they are less likely to have their growth sites damaged by grazing [65]. An example of grasses adapted to these conditions are those of the genus *Paspalum*, which are prevalent and are distributed in practically all South American natural grasslands [66]. Therefore, that the high productive stability in this scenario of low forage allowances is due to being a homogeneous pasture

that constantly produces little, with species adapted to overgrazing, in this scenario the positive environmental conditions in some years and negative in others are diluted in the low productive indices, biologically simplified agro-ecosystems are more vulnerable to extreme weather events [67].

The treatment considered moderate or intermediate, with greater anthropic action (8-12%) was unstable, where the metrics of vegetation production are satisfactory or there is no significant difference between the highest ones, however according to the results of FW slopes are more easily affected by weather disturbances.

Treatments of high forage allowance (12 and 16%) has low stability, and higher rates of vegetation production could be assigned to some interconnected factors. The first factor concerns the diversity found in these environments, because grazing has an active role in modifying the structure of the pasture, in addition to altering the ecological balance between species [68]. Natural grasslands present a great magnitude of variability in physiognomy and floristic composition and can be presented in the form of a double stratum., with an herbaceous strata formed by grasses and legumes to a tree shrub with medium-sized plants [69]. This double stratum could be of species of prostrate growth habit that grow in the lower stratum, located between tussocks [70].

The high diversity of species can make some groups stand out to the detriment of others, according to environmental weather and grazing [42]. This behavior can generate instability in the system, according to the metrics addressed, but from an ecological point of view it is extremely positive, since biodiversity is one of the factors that increase the resistance and resilience of diverse ecosystems [26], such as natural grassland.

The second point is linked to the pasture structure and can be explained by the results obtained in the production range and standard deviation metrics (table 1). The significant differences found for these two metrics indicate greater production fluctuation, we can



infer that climatic factor make treatments with high forage allowance more flexible over time. In terms of maximum and minimum potential production, we can see that high forage allowances do not differ from each other (table 2). However, we also can observe that the amplitude between the maximum and minimum is greater in the treatments of moderate to high forage allowance, in unfavorable conditions. productive potential minimums are like those found in the low forage allowance in compensation the maximum productive potentials are significantly higher (table 2). This relationship mainly for the variable forage mass can show us that the correctly managed pasture structure can act as a pasture reserve, when environmental conditions are not favorable, however short periods of exclusion from grazing and/or favorable conditions are already sufficient to restore botanical composition and productivity [71]. Therefore, grazing has an active role in the metrics of vegetation production stability in treatments with high allowances.

Stocking rate can be interpreted as a productive variable, but also as a consequence of the adopted management, the decreasing linear response as the forage allowance increases, was already expected, as seen in previous works [20,21,22,41,42,72,73], since animal stocking is the method for the control of treatments. However, your answer to the stability metrics is a point to be considered as the overall stability rank does not seem to be the best way to study this variable, since the metrics that define the rank are quite dispersed among the treatments (table 1), so we will look at the metrics separately. The coefficient of variation shows no differences, however, production range and standard deviation, show a tendency of no difference between moderate and high allowances, always receiving indicators less than five, since the 4% treatment differs from the others and for the two metrics it receives the highest indicator (5), the same indicator received also for FW slope, indicating the instability and vulnerability of this treatment. Here can make a link with the stability responses obtained for the vegetation variables, the low capacity of vegetation

production due to overgrazing keeps the treatment stable even in periods with climatic conditions is favorable, which changes however and the stocking rate that will be applied to the maintenance of this treatment, in unfavorable years, animals are removed, in favorable years it increases, this effect makes the treatment 4% quite unstable in relation to the stocking rate and very stable in relation to vegetation production, but always remembering with the lowest productive potentials (table 2).

The variables related specifically to animal production (live weight gain and live weight gain per area) showed similar behavior. The first result to be scored is the low animal performance in low forage allowances, since the structure of the pasture is limiting, the insufficient availability can harm the production of grazing animals more than the quality of the forage [74], for the simple fact the animals do not have time to harvest the necessary forage [75], at the bit scale beyond the size and the bit rate the grazing time, is quite challenging for the animal [76]. Another factor is that by increasing grazing intensity through stocking rates, the availability of high quality forage decreases, resulting in an increased likelihood of selecting low-quality forage and a decrease in the selectivity rate of the diet [77].

Live weight gain shows a linear behavior with increasing forage allowance, however it does not differ in relation to moderate and high allowances, this is probably due to the greater height of the pasture providing better structural conditions of the grassland and the possibility of the animal to select its diet. However, previous studies refer to the quadratic behavior of the results, decreasing at low intensities because the time grazing can be greater even in conditions of abundance of vegetation [20].

High allowances favor the development of tussocks that play an important role in reducing the forage harvested by grazing animals [78], as the time spent on food acquisition is not optimized, the bite mass and the intake rate decrease due to the increase

in time per bite [75], associated with low density of available forage and, consequently, restricting the rate of ingestion [78,79]. Thus, average grazing conditions promote high daily forage consumption, as well as high levels of nutrient intake [80].

Live weight gain per area showed higher productions for the treatments of moderate forage allowance with results in the evaluated period like that described in the literature [12], the average secondary production of natural grassland is 60-70 kg live weight per hectare per year. The behavior was shown in a quadratic way in relation to the forage allowance, because here the gain per area is penalized by the lower stocking rate, despite benefits in soil protection and in the production of forage, high allowances compromise the animal production per area [81], the results showed no significant difference between the treatments of moderate to high forage allowances. Minimum and maximum production potentials also show no difference between moderate and high allowances for Live weight gain per animal and area (table 2), reaching approximately 500 grams per animal per day under favorable conditions (table 2), and maintaining the minimum gain in unfavorable conditions, it is important to note that the 4% treatment differs from the others with potential negative minima in unfavorable years. Regarding the stability both live weight gain and live weight gain per area showed linear stability in relation to the treatments, with the treatments of high forage allowance (12 and 16%) being the most stable, the stability metrics that generated the overall stability rank did not showed statistical difference (table 1). As previously portrayed, the same factors that are believed to make vegetation variables less stable in moderate and high forage allowances, are the ones that give stability to the variables related to animal production.

The high botanical diversity, better structure conditions of the pasture, and possibly greater anthropic actions in the case of the 8-12% treatment are responsible for higher quality and greater availability of forage for the animals, which in turn feeds satisfactory

production rates, as found in studies already carried out in this same protocol. For example, the range that best responds to the estimated production potential of animal and plant products is around 12% [73], moderate to high allowances are more favorable to better pasture structures and increase intakes, improving the reproductive fitness of the animals. heifers at 28 months of age [42], low grazing time values have always been associated with a pasture structure with forage mass between 1400 and 2200 kg of dry matter per hectare [20] our results for forage mass are within this moderate forage allowance range 8% 1231 kg DM ha<sup>-1</sup> and 8-12% 1407 kg DM ha<sup>-1</sup>, (table 1).

In another study, the treatment of 8-12% showed average daily gains and intermediate stocking rate and high animal production per area [21], high rates of nutrient intake by cattle grazing in natural grasslands of the Pampa Biome occurred in allowances around 12.1%, characterized by forage mass between 1820 and 2280 kg DM [80]. Finally, studies with environmental indexes showed a better response also in moderate forage allowances, for example, a forage allowance of 8–12% represented 300% less CH<sub>4</sub> emitted per unit of live weight gain when compared to pastures managed under intense grazing [25].

The search for more stable management is not the most appropriate direction to be followed, since when observing the metrics for vegetation variables we would choose high grazing intensities, obviously because of the above, this is a problem, as it is linked to environmental degradation [9,11,12], low production rates [21,22,42,73], high methane production [24,82] and instability for animal production. In contrast, the choice for stability from the perspective of animal production, with management in high allowances also leads to productivity losses, with a marked decrease in the stocking rate, in addition to changes in botanical diversity [8] and the emergence of unfavorable structures [78,83].

Working with livestock intensification strategies aimed at optimizing management [39], combining climate and pasture management [84,85], seems to be the best response.

The suggestion, therefore, is to work with moderate forage allowance such as the 8-12% treatment, with the purpose to be a balance stability of the animal and vegetation variables. The 8-12% treatment makes this intersection between the responses of the variables under study, without presenting extremes of stability and instability of production (figure 2). This proposal for a balance of stability using moderate forage allowances (8-12%) has good responses in relation to the effects of environmental variations, combined with the best production rates, while maintaining a low environmental footprint [30], also prioritizing ecological services already found in this protocol [8,24,74,80], to then make the use of natural grassland increasingly conscious and more productive.

## **CONCLUSION**

The results suggest it is possible to seek production stability in natural ecosystems, with the use of natural grasslands in the livestock. The use of low forage allowance enables the stability of vegetation production, managements with a high forage allowance promotes the stability of animal production. However, it is the use of moderate forage allowance mainly 8-12% in which has been find a balance of stability, as not being part of extremes, can say that this treatment has good resilience and stability in relation to environmental variations, for animal and vegetation production, in addition to provide greater productive indexes. Lastly, it is important to highlight the importance of long-term experimental protocols, because in this scenario of increasingly constant and severe environmental changes, it is necessary to understand all the complexity of the production systems, in order to ensure future food production and food security. Some future study issues, such as the use of databases that include composing the four seasons, as well as increasing the complexity of databases and diversity of these systems, including animal and plant species, fertilized pastures, and treatments aimed at controlling the pasture structure, are still needed.

## DATA AVAILABILITY

The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

## REFERENCES

1. Suttie, J. M., Reynolds, S. G., Batello, C. Grassland perspectives. in: *Grasslands of the world*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2005).
2. Tainton, N. M., Morris, C. D. & Hardy, M. B. Complexity and stability in grazing systems. in: *The Ecology and Management of Grazing Systems*. 275–300 (1996).
3. Bilenca, D. & Miñarro, F. Identificación de áreas valiosas de pastizal em lãs pampas y campos de Argentina, Urugui y sur de Brasil. (2004).
4. Allen, V. G. *et al.* An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and For. Sci.* **66**, 2–28 (2011).
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Pastoralism in the new millenium*. *Animal Production and Health*, **150** (2001).
6. Lemaire, G., Wilkins, R. & Hodgson, J. Challenges for grassland science: managing research priorities. *Agr. Ecos. and Env.* **108**, 99-108 (2005).
7. Modernel, P. *et al.* Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Env. Res. Let.* **11**, 113002 (2016).
8. Boldrini, I. I. Biodiversidade dos Campos Sulinos. in: *Simpósio de forrageiras e produção animal*. 11-24 (2006).
9. Wagner, A. P. L. *et al.* Temporal trends of vegetation indices on Pampa grasslands in Brazil and Uruguay. *Pesq. Agropec. Bras.* **48**, 1192-1200 (2013).
10. Trindade, J. P. P., Rocha, D. S., & Volk, L. B. S. (2018). Uso da terra no Rio Grande do Sul. (2017).

11. Overbeck, G. E. *et al.* Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **9**, 101–116 (2007).
12. Berreta, E. Algunos aspectos sobre la biodiversidad de los campos naturales. *Rev. INIA Uruguay.* **20**, 21-25 (2009).
13. Carvalho, P.C.F. *et al.* Produção animal no bioma campos sulinos. *Rev. Bras. Zootec.* **35**, 156-202 (2006).
14. Tiscornia, G., Jaurena, M. & Baethgen, W. Drivers, process, and consequences of native grassland degradation: Insights from a literature review and a survey in Río de la Plata grasslands. *Agron.* **9**, 239 (2019).
15. United Nations. Population division of the department of economic and social affairs of the United Nations: World population prospects. Available at: <https://population.un.org/wpp/DataQuery/> (2019).
16. Verhoeven, J. T. A., Arheimer, B., Yin, C. & Hefting, M. M. Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends Ecol. Evol.* **21**, 96–103 (2006).
17. Liu, J. *et al.* A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **107**, 8035–8040 (2010).
18. Osborne, T. M. & Wheeler, T. R. Evidence for a climate signal in trends of global crop yield variability over the past 50 years. *Environ. Res. Lett.* **8**, 024001 (2013).
19. Farrié, B. *et al.* Rangeland Rummy-A board game to support adaptive management of rangeland-based livestock systems. *J. of Env.* **147**, 236-245 (2015).
20. Maraschin, G. E., Moojen, E. L. & Escosteguy, C. M. D. Native pasture, forage on offer and animal response. in: International Grassland Congress. 288 (1997).
21. da Trindade, J. K. *et al.* Forage allowance as a target of grazing management: implications on grazing time and forage searching. *Rangel. Ecol. Manag.* **65**, 382–393 (2012).

22. Mezzalira, J. C., Carvalho, P. C. F., da Trindade, J. K. & Bremm, C. Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. *Ciênc. Rural.* **42**, 1264-1270 (2012).
23. Carvalho, P. C. F. *et al.* Can animal performance be predicted from short-term grazing processes? *Ani. Prod. Sci.* **55**, 319–327 (2015).
24. Fischer, F.M., Bonnet, O., Cezimbra, I. & Pillar, V.D. Long-term effects of grazing intensity on strategies and spatial components of functional diversity in subtropical grassland. *Appl. Veg. Sci.* **22**, 39-47 (2019).
25. Cezimbra, I. M. *et al.* Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa biome. *Sci. of the Tot. Env.* **780** 146582 (2021).
26. Lehmann N., Finger R., Klein T., Calanca P. & Walter A. Adapting crop management practices to climate change: modeling optimal solutions at the field scale. *Agric. Syst.* **117**, 55–65 (2013).
27. Isbell, F. *et al.* Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* **526**, 574–577 (2015).
28. Peterson, C. A., Eviner, V. T. & Gaudin, A. C. M. Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agric. Syst.* **162**, 19–27 (2018).
29. Reckling, M. *et al.* Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. *Agr. for Sust. Dev.* **41**, 1-28 (2021).
30. Olesen, J. E. *et al.* Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *Eur. J. Agron.* **34**, 96–112 (2011).
31. Pillar, V. P. *et al.* Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. (2009).



32. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil*. (2004).
33. Thurow, J. M. *et al.* Estrutura da vegetação e comportamento ingestivo de novilhos em pastagem natural do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Zoot.* **38**, 818-826 (2009).
34. Boldrini I.I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. In: *Campos Sulinos - Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade* **56**. 1-39 (1997).
35. Conte, O. *et al.* Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. *Rev. Bras. Ciênc. do Solo.* **35**, 579-587 (2011).
36. Mott, G. O. & Lucas, H. L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. in: *Proceedings of the International*. 1380-1385 (1952).
37. Soares, A.B. *et al.* Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. *Ciênc. Rural.* **35**, 1148-1153 (2005).
38. Nabinger, C. & Carvalho, P. C. F. Ecofisiología de sistemas pastoriles: aplicaciones para sustentabilidad. *Agroc.* **13**, 18-27 (2009).
39. 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. *Front. in Sust. Food Syst.* **5**, 11 (2021).
40. Wilm, H. G., Costelo, O. F. & Klipple, G. E. Estimating forage yield by the double sampling method. *J. Anim. Soc. Agron.* **36**, 194–203 (1944).
41. Côrrea, F. L. & Maraschin, G. E. Growth and disappearance in a natural pasture under four levels of forage on offer. *Braz. J. Agric. Res.* **29**, 1617–1623 (1994).

42. Neves, F.P. *et al.* Structural characterization of a natural pasture vegetation from Pampa Biome under different herbage allowance management strategies. *Braz. J. Anim. Sci.* **38**, 1685–1694 (2009).
43. Barthram, G. T. Experimental techniques: The HFRO sward stick. in: *The Hill farming research organization*. 29–30 (1985).
44. Klingman, D. L., Miles, S. R. & Mott, G. O. The Cage Method for determining consumption and yield of pasture herbage. *Agron. J.* **35**, 739–746 (1943).
45. Moraes, A., Moojen, E. L & Maraschin, G. E. Comparação de métodos de estimava de taxa de crescimento em uma pastagem submetida a diferentes pressões de pastejo. in: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*. 332 (1990).
46. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing (2018).
47. Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. & Walker, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *J. Stat. Softw.* **67**, 1–48 (2015). Kutner, M. H. Nachtsheim, C. J. & Neter. *J. App. Lin. Regr. Mod.* (2004)
48. Lenth, R. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. *R package version 1.3.1*. (2018).
49. Fox, J. & Weisberg, S. An {R} companion to applied regression (2011).
50. Li, M., Peterson, C. A., Tautges, N. E., Scow, K. M. & Gaudin, A. C. M. Yields and resilience outcomes of organic, cover crop, and conventional practices in a Mediterranean climate. *Sci. Rep.* **9**, 12283 (2019).
51. Nielsen, D. C. & Vigil, M. F. Wheat yield and yield stability of eight dryland crop rotations. *Agron. J.* **110**, 594–601 (2018).
52. Macdonald, J. M., & McBride, W. D. The transformation of U.S. livestock agriculture: scale, efficiency, and risks.: *Economic Research Service, U.S.*

- Department of Agriculture*. USDA Economic Information Bulletin n. 43. Washington, DC (2009).
53. Peyraud, J. L. & Peeters, A. The role of grassland based production system in the protein security. *Grassland Science in Europe – The multiple roles of grassland in the European Bioeconomy* **21**, 29–43 (2016).
  54. Eisler, M.C. *et al.* Agriculture: steps to sustainable livestock. *Nature* **507**, 32–34 (2014).
  55. Schader, C. *et al.* Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *J. R. Soc. Int.* **12**, 20150891 (2015).
  56. Berretta, E. J., Risso, D. F., Montossi, F. & Pigurina, G. “Campos in Uruguay”. in: *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology* 377–394 (2000).
  57. Cruz, G., Baethgen, W., Picasso, V. & Terra, R. Análisis de sequias agronómicas en dos regiones ganaderas de Uruguay. *Agroc. Urug.* **18**, 126–132 (2014).
  58. Guido, A., Varela, R. D., Baldassini, P. & Paruelo, J. Spatial and temporal variability in aboveground net primary production of Uruguayan grasslands. *Rangel. Ecol. Manag.* **67**, 30–38. (2014).
  59. Pinto, L. F. M., Barioni, L. G. & SILVA, S. C. Sasonal patterns of growth and senescence in *Cynodon* spp. Tifton 85 grazed swards. in: *Proceedings of The International Grassland Congress.* **82**. (2001).
  60. Carvalho, P. C. F., Santos, D. T. & Neves, F. P. Oferta de forragem como condicionadora da estrutura do pasto e do desempenho animal. in: *Sustentabilidade Produtiva do Bioma Pampa.* 23-60 (2007).
  61. Mott, G.O. Grazing pressure and the measurement of pasture production. in: *Proceedings of the International Grassland Congress.* 606–611 (1960).

62. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Global forest resources assessment. Available at:  
<http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9825en/> (2010).
63. Carvalho, P. C. F. & Batello, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. *Liv. Sci.* **120**, 158-162 (2009).
64. Matches, A. G. Plant response to grazing: a review. *J. of Prod. Agr.* **5**, 1-7 (1992).
65. Santos, M. E. R., Fonseca, D. M. & Gomes, V. M. Relationship between morphogenesis and tiller dynamics in signal grass pastures. *Biosc. J.* **30**, 201-209 (2013).
66. Lin, B. B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental change. *Bioscience* **61**, 183–193 (2011).
67. Hodgson, J. Grazing Management. *Science into practice.* (1990).
68. Cezar, I. M. *et al.* Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: Uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. *Embrapa Gado de Corte Campo Grande, MS* (2005).
69. Cruz, P. *et al.* Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the south of Brazil. *Rang. Ecol. Manag.* **63**, 350–358 (2010).
70. Fedrigo, J. K. *et al.* Temporary grazing exclusion promotes rapid recovery of species richness and productivity in a long-term overgrazed Campos grassland. *Soc. for Ecol. Rest.* **26**, 677-685 (2018).
71. Maraschin, G. E. Perdas de Forragem sob Pastejo. in: *2 Simpósio Sobre Ecossistema de Pastagens.* 166-190 (1993).

72. Moojen, E. L. & Maraschin, G. E. Potential production of a Southern Brazil rangeland submitted to forage on offer levels. *Ciênc. Rural* **32**, 127-132 (2002).
73. Azambuja Filho, J. C. R. *et al.* Functional Classification of Feed Items in Pampa Grassland, Based on Their Near-Infrared Spectrum. *Rang. Ecol. & Manag.* **73**, 358-367 (2020).
74. Carvalho, P.C.F. Can grazing behaviour support innovations in grassland management? In: *International Grassland Congress*. **1**, 1134-1148 (2013).
75. Provenza, F. D. Twenty-Five Years of Paradox in Plant-Herbivore Interactions and "Sustainable" Grazing Management. *Rang.* **25**, 4-15 (2004).
76. Török, P. *et al.* Vegetation type and grazing intensity jointly shape grazing effects on grassland biodiversity. *Ecology and Evolution*. 1-10 (2018).
77. Bremm, C. *et al.* Foraging behaviour of beef heifers and ewes in natural grasslands with distinct proportions of tussocks. *Appl. Anim. Beh. Sci.* **141**, 108-116 (2012).
78. Gonçalves, E. N. *et al.* Plant-animal relationships in pastoral heterogeneous environment: process of herbage intake. *Braz. J. Anim. Sci.* **38**, 1655–1662 (2009).
79. da Trindade, J. K. *et al.* Daily forage intake by cattle on natural grassland: response to forage allowance and sward structure. *Rang. Ecol. & Manag.* **69**, 59-67 (2016).
80. Kunrath, T. R. *et al.* Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. *Agric. Syst.* **177**, 102716 (2020).
81. de Souza Filho, W. *et al.* Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: trade-offs between animal performance and environmental impacts. *J. Clean. Prod.* 213, 968–975 (2019).
82. Briske, D. D. Developmental morphology and physiology of grasses. in: *Grazing Managment: na Ecological Perspective*. 85-108 (1991).

83. Briske, D. D., Bestelmeyer, B. T., Stringham, T. K. & Shayer P.L. Recommendations for development of resilience-based state-and-transition models. *Rang. Ecol. & Manag.* **61**, 359–367 (2008).
84. Boavista, L. D. R., Trindade, J. P. P., Overbeck, G. E. & Müller, S. C. Effects of grazing regimes on the temporal dynamics of grassland communities. *Appl. Veg. Sci.* **22**, 326–335 (2019).
85. Hothorn, T., Bretz, F. & Westfall, P. Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical J.* **50**, 346–363 (2008).
86. de Mendiburu, F. *Agricolae: statistical procedures for agricultural research. R package version 1.* 2–8 (2017).
87. De Albuquerque Nunes, P. *et al.* Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop yields. *Scientific Reports.* 11:1649 (2021).

## Competing Interests

The author declare no competing interests

## FIGURES AND TABLES

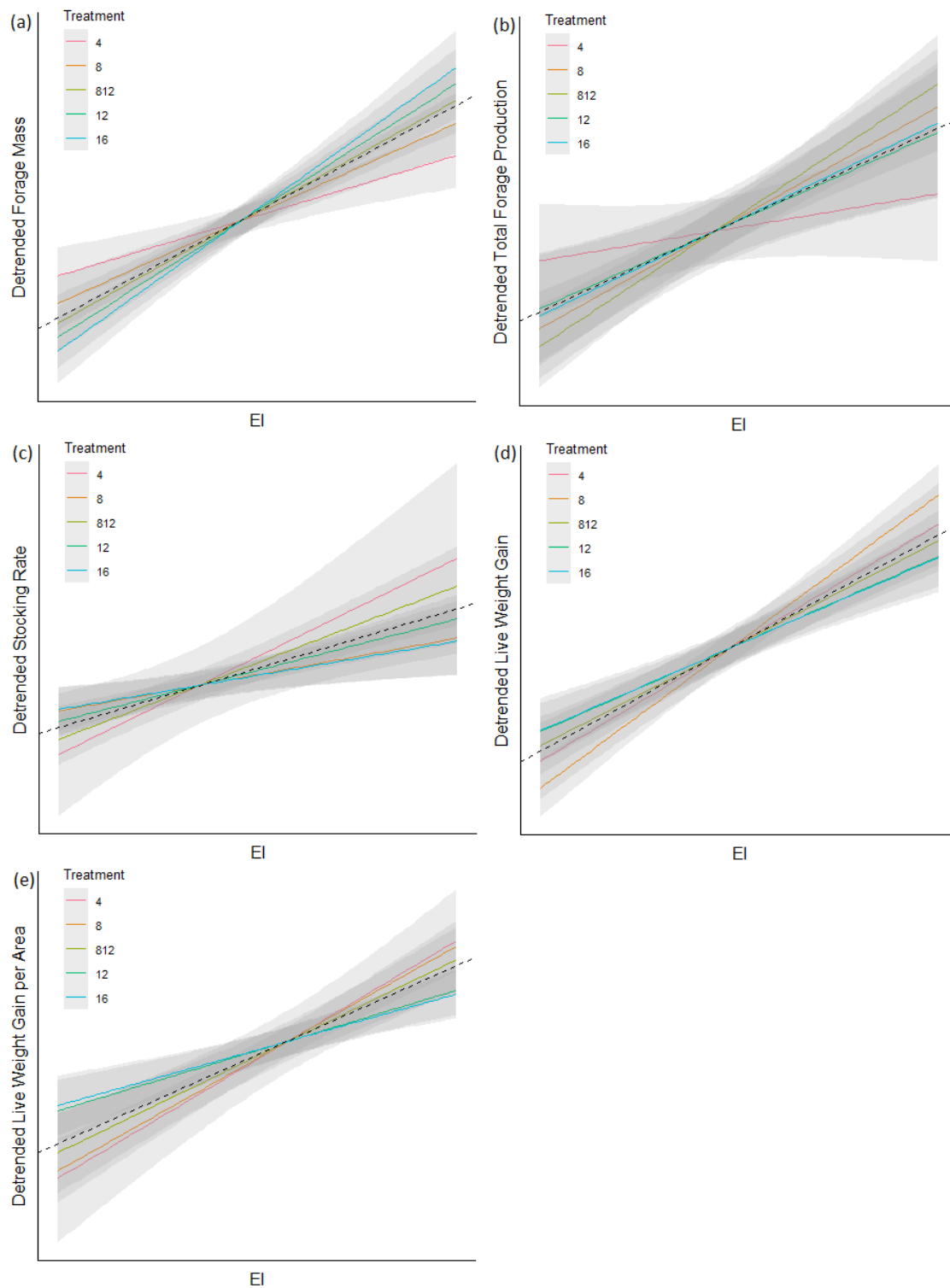


Figure 1. Production stability of (a) forage mass ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ), (b) total forage production ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ), (c) stocking rate ( $\text{kg BW ha}^{-1}$ ), (d) live weight gain ( $\text{kg BW animal}^{-1}$ )

day<sup>-1</sup>) and (e) live weight gain per area (kg BW ha<sup>-1</sup>) of a long-term protocol in natural grassland ecosystem submitted to different forage allowances (4, 8, 8- 12, 12 and 16%). Environmental index (EI) was calculated as the period mean detrended yield. The dashed lines are the regression of detrended productions against the EI without treatment effects. Lower slopes indicate greater production stability.



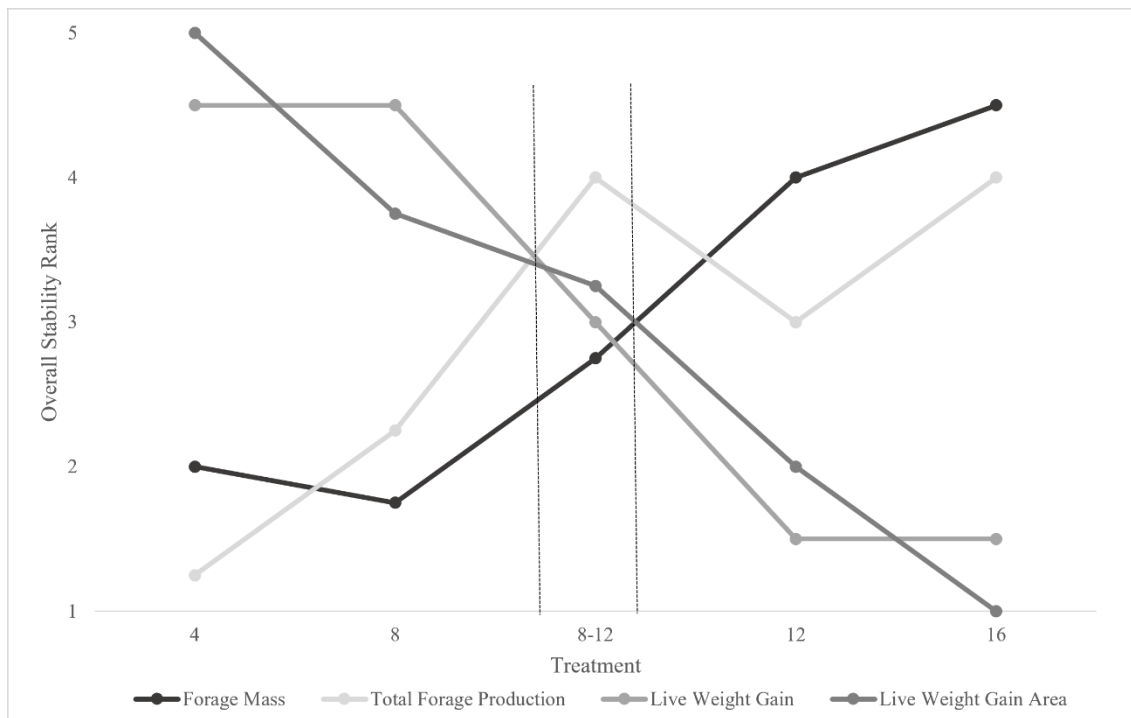


Figure 2. Rank of production stability of the variables forage mass ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ), total forage production ( $\text{kg DM ha}^{-1}$ ), live weight gain ( $\text{kg BW animal}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), and live weight gain per area ( $\text{kg BW ha}^{-1}$ ), of a long-term protocol in natural grassland ecosystem submitted to different forage allowances. The dashed lines represent the management range where exist the best balance of stability for vegetation and animal responses. Overall stability rank near 1 represents greater production stability.

Indicator	Treatment	Mean production	Stability parameters				Overall rank
			Production range	Coefficient of variation (%)	Standard deviation	FW Slope	
Forage Mass (kg DM ha <sup>-1</sup> )	4	851e	640.70 c (1)	0.191 (5)	161.35 d (1)	0.56 (1)	2
	8	1231d	734.99 bc (2)	0.153 (1)	185.87 cd (2)	0.84 (2)	1.75
	8-12	1407c	822.89 abc (3)	0.161 (2)	227.91 bc (3)	1.05 (3)	2.75
	12	1517b	1011.97 ab (4)	0.178 (4)	268.06 ab (4)	1.19 (4)	4
	16	1779a	1145.41 a (5)	0.167 (3)	296.15 a (5)	1.33 (5)	4.5
Total Forage Production (kg DM ha <sup>-1</sup> )	4	2307	3678.75 (1)	0.485 (2)	1116.12 (1)	0.36 (1)	1.25
	8	2597	4133.15 (2)	0.482 (1)	1244.89 (2)	1.20 (4)	2.25
	8-12	2543	4634.55 (3)	0.570 (4)	1447.46 (4)	1.42 (5)	4
	12	2557	4914 (4)	0.506 (3)	1304.75 (3)	0.95 (2)	3
	16	2973	5020.47 (5)	0.506 (3)	1468.47 (5)	1.04 (3)	4
Stocking Rate (kg BW ha <sup>-1</sup> )	4	634a	662.53 a (5)	0.261 (5)	165.35 a (5)	1.65 (5)	5
	8	413b	287.48 b (3)	0.151 (1)	62.46 b (3)	0.61 (2)	2.25
	8-12	378b	310.25 b (4)	0.221 (4)	82.88 b (4)	1.29 (4)	4
	12	304c	192.64 b (1)	0.178 (2)	54.43 b (2)	0.86 (3)	2
	16	242d	198.03 b (2)	0.200 (3)	51.12 b (1)	0.57 (1)	1.75
Live Weight Gain (kg BW animal <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	4	0.081c	0.535 (4)	1.745 (5)	0.162 (4)	1.09 (5)	4.5
	8	0.229b	0.646 (5)	0.739 (4)	0.180 (5)	1.35 (4)	4.5
	8-12	0.257b	0.493 (3)	0.493 (3)	0.136 (3)	0.94 (3)	3
	12	0.279ab	0.385 (1)	0.422 (2)	0.122 (1)	0.80 (2)	1.5
	16	0.338a	0.467 (2)	0.368 (1)	0.126 (2)	0.79 (1)	1.5
Live Weight Gain Per Area (kg BW ha <sup>-1</sup> )	4	17.8 b	220.64 (5)	4.649 (5)	63.21 (5)	1.33 (5)	5
	8	71.5 a	165.39 (3)	0.700 (4)	49.56 (4)	1.26 (4)	3.75
	8-12	71.2 a	186.80 (4)	0.657 (3)	46.79 (3)	1.08 (3)	3.25
	12	59.6 a	113.22 (2)	0.520 (2)	31.18 (2)	0.67 (2)	2
	16	57.8 a	109.97 (1)	0.508 (1)	29.46 (1)	0.62 (1)	1

Table 1. Average production and metrics of stability production of a long-term protocol, in a natural grassland ecosystem, managed under different forage allowance. Different letters in the column represent differences between treatments according to the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ). Numbers in parentheses classify treatments for variables within the column. The FW slope represents a large slope of the Finlay and Wilkinson regression.

Indicator	Treatment	Minimum productive potential	Maximum productive potential
Forage Mass (kg DM ha <sup>-1</sup> )	4	681.89 c	1069.35 d
	8	977.15 b	1557.40 c
	8-12	1106.39 b	1825.05 bc
	12	1168.08 ab	1984.06 ab
	16	1389.01 a	2301.36 a
Total Forage Production (kg DM ha <sup>-1</sup> )	4	1889.23	2897.78 b
	8	1212.09	4553.29 a
	8-12	902.79	4861.59 a
	12	1457.17	4112.06 a
	16	1770.51	4671.89 a
Stocking Rate (kg BW ha <sup>-1</sup> )	4	586.69 a	792.31 a
	8	390.01 b	473.04 b
	8-12	328.43 bc	503.20 b
	12	274.37 cd	391.13 bc
	16	227.94 d	305.62 c
Live Weight Gain (kg BW animal <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> )	4	-0.091 c	0.312 b
	8	0.009 b	0.509 a
	8-12	0.108 ab	0.458 a
	12	0.148 a	0.447 a
	16	0.202 a	0.497 a
Live Weight Gain Per Area (kg BW ha <sup>-1</sup> )	4	-35.76 b	84.87
	8	20.85 a	134.99
	8-12	27.63 a	125.67
	12	32.40 a	93.63
	16	32.68 a	89.19

Table 2. Minimum and maximum forage production potentials and animal parameters of a long-term protocol, in a natural grassland ecosystem, managed under different forage allowance. Different letters in the column represent significant differences between treatments according to the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ).

## CAPÍTULO IV

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento das espécies frente as estações do ano e ao extremo climático de falta de umidade assim como a rápida resposta quando se dá o mínimo de melhora das condições ambientais, é o indicativo da resiliência das pastagens, onde obtivemos clara superioridade e diferenças significativas no segundo semestre do ano que compreendeu o inverno e a primavera,

Como esperado as espécies representantes de diferentes tipos funcionais apresentaram respostas diferentes entre si, para a maioria das características morfogênicas. Quando identificada diferença entre os tratamentos de oferta de forragem em geral os tratamentos de moderada a alta oferta de forragem apresentaram os maiores valores de duração de vida da folha, assim como maior filocrono e taxas de alongação, um indicativo de que independente das espécies e suas diferenças o potencial de expressão das características morfogênicas se dá de forma melhor em ofertas com menor pressão de pastejo.

Ofertas de forragem consideradas baixas (4% kg ms/100kg pv) e altas (16% kg ms/100kg pv) proporcionaram extremos de estabilidade de produção onde para a produção vegetal tratamentos de baixa oferta de forragem se mostraram mais estáveis, diferentemente de ofertas altas onde a produção animal se mostrou mais estável. No entanto como a maioria dos resultados encontrados em pastagens naturais submetidas a pastejo, a resposta encontrada para ofertas moderadas mostrou o melhor equilíbrio de estabilidade de produção entre os tratamentos. O tratamento 8-12% (kg ms/100kg pv) foi aquele capaz de apresentar melhor resiliência e estabilidade frente as variações ambientais, além de proporcionar maiores índices produtivos.

Percalços como o grande déficit hídrico no primeiro semestre do experimento em 2020, abre janelas de pensamento e de possíveis trabalhos futuros, pois compreender as respostas das pastagens naturais a extremos climáticos cada vez mais frequentes pode ser a diferença entre um sistema produtivo, conservado ecologicamente e uma pastagem degradada.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, V. G. *et al.* An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 66, p. 2–28, 2011.
- BERTOL, I. *et al.* Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 779-786, 1998.
- BILENCA, D.; MIÑARRO, F. **Identificación de áreas valiosas de pastizal em lãs pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (AVPs)**. Buenos Aires: Fundacion Vida Silvestre, 2004.
- BOLDRINI I. I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências**, Porto Alegre, v. 56, p. 1-39, 1997.
- BOLDRINI, I. I. Biodiversidade dos campos sulinos. *In*: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 1., 2006, Porto Alegre. **Anais [...]**. Canoas: Ed. ULBRA, 2006. p. 11-24.
- BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In*: PILLAR, V. P. (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 62-77.
- BOLDRINI, K. R.; PAGLIARINI, M. S.; VALLE, C. B. Meiotic behavior of a nonaploid accession endorses  $x = 6$  for *Brachiaria humidicola*. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 4, p. 1444-1450, 2009.
- BRISKE, D. D. Developmental morphology and physiology of grasses. *In*: HEITSCHMIDT, R. K.; STUTH, J. W. (ed.). **Grazing management: an ecological perspective**. Portland, Or. : Timber Press, c1991. p. 85-108.
- BRISKE, D. D. *et al.* Recommendations for development of resilience-based state-and-transition models. **Rangeland Ecology & Management**, Lakewood, Colo, v. 61, p. 359–367, 2008.
- CARVALHO, P. C. F. *et al.* Managing natural grasslands in a changing world: grazing ecology insights to accomplish re oriented management expectations. *In*: HONG, F. *et al.* (ed.). **Multifunctional grasslands and rangelands in a changing world**. Beijing: Guangdong People's Publishing House, 2008. p. 415-421.
- CARVALHO, P. C. F. *et al.* Can animal performance be predicted from short-term grazing processes? **Animal Production Science**, Melbourne, v. 55, n. 3, p. 319-27, 2015
- CEZAR, I. M. *et al.* **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Campo Grande, MS:

Embrapa Gado de Corte, 2005. (Documentos, 151).

CHAPIN, F. S. *et al.* Consequences of changing biodiversity. **Nature**, London, v. 405, p. 234-242, 2000.

CHAPMAN, D.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In*: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, [New Zealand]. **Anais** [...]. Palmerston North, N.Z: The Association, c1993. p. 95-104.

CONFORTIN, A. C. C. *et al.* Leaf tissue fluxes of Pampa biome native grasses submitted to two grazing intervals. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 72, n. 4, p. 654-662, 2016.

CONTE, O. *et al.* Densidade, agregação e frações de carbono de um Argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 579-587, 2011.

CORREIA, F. L.; MARASCHIN, G. E. Crescimento e desaparecimento de uma pastagem nativa sob diferentes níveis de oferta de forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 1617-1623, 1994.

CRUZ, P. *et al.* Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. **Fourrages**, Versailles, v. 172, p. 335-354, 2002.

CRUZ, P. *et al.* Leaf traits as functional descriptors of the intensity of continuous grazing in native grasslands in the South of Brazil. **Rangeland Ecology & Management**, Lakewood, Colo, v. 63, p. 350-358, 2010.

DURU, M.; DUCROCQ, H. A model of lamina digestibility of orchard grass as influenced by nitrogen and defoliation. **Crop science**, Madison, v. 42, p. 214-223, 2002.

EGGERS, L.; CADENAZZI, M.; BOLDRINI I. I. Phyllochron of *Paspalum Notatum* FL. and *Coelorhachis Selloana* (HACK.) Camus in Natural Pasture. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 353-357, 2004.

FAO- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Pastoralism in the new millenium**. Rome: FAO, 2001. (FAO animal production and health paper, v. 150).

FISCHER, F. M. *et al.* Long-term effects of grazing intensity on strategies and spatial components of functional diversity in subtropical grassland. **Applied Vegetation Science**, Bethesda, MD, v. 22, n. 1, p. 39-47, 2019.

GIUSTINA JUNIOR, L. H. P. D. *et al.* Grazing height management does not change the persistence pathway of *Andropogon lateralis* in a natural pasture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 54, e00405, 2019.

GONÇALVES, E. N. *et al.* Plant-animal relationships in pastoral heterogeneous environment : process of herbage intake. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa,

v. 38, p. 1655-1662, 2009.

FEDRIGO, J. K. *et al.* Temporary grazing exclusion promotes rapid recovery of species richness and productivity in a long-term overgrazed Campos grassland. **Society for Ecological Restoration**, Malden, MA, v. 26, n. 4, p. 677-685, 2018.

HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. London: Longman Scientific and Technical, 1990.

LACA, E. A.; LEMAIRE, G. Measuring sward structure. *In*: T'MANNETJE, L.; JONES, R.M. (ed.). **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. New York: CABI, 2001. p. 103-122.

LACA, E. A. Ganadería de precisión. *In*: REUNION DEL GRUPO TECNICO EN FORRAJERAS DEL CONO SUR- Grupo Campos, 22., 2008, Minas, Lavalleja, Uruguay. **Anais [...]**. Montevideo: INIA, 2008. p. 77-79.

LARCHER, W.; ASSIS PRADO, C. H. B.; FRANCO, A. C. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: RIMA, 2006.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. *In*: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (ed.). **The ecology and management of grazing system**. Wallingford: CAB International, 1996. p. 3-36.

LEMAIRE, G.; WILKINS, R.; HODGSON, J. Challenges for grassland science: managing research priorities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 108, n. 2, p. 99-108, 2005.

MACHADO, J. M. *et al.* Morphogenesis of native grasses of pampa biome under nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 42, p. 22-29, 2013.

MAPBIOMAS. **Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil entre 1985 a 2021: coleção 7**. [São Paulo], 2022. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact-Sheet-Colecao7.pdf> Acesso em: 13 out. 2022.

MARASCHIN, G. E. Perdas de forragem sob pastejo. *In*: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais [...]**. Jaboticabal, SP: FAPESP, 1993. p. 166-190.

MCIVOR, J. G. Leaf growth and senescence in *Urochloa mosambicensis* and *U. oligotricha* in a seasonally dry tropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, v. 35, p. 177-187, 1984.

MOOJEN, E. L.; MARASCHIN, G. E.; Potential production of a Southern Brazil rangeland submitted to forage on offer levels. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 127-132, 2002.

MEZZALIRA, J. C. *et al.* Produção animal e vegetal em pastagem nativa manejada sob diferentes ofertas de forragem por bovinos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, jul. 2012.

MILCHUNAS, D. G.; SALA, O. E.; LAUENROTH, W. K. A generalized model of the



effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. **The American Naturalist**, Chicago, v.132, p. 87-106, 1998.

MODERNEL, P. *et al.* Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 11, [art.] 113002, 2016.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. *In*: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13., 1996, Piracicaba. **Anais** [...]. Piracicaba: Fealq, 1997. p. 15-96.

NABINGER, C. Princípios de manejo e produtividade de pastagens. *In*: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS DE CORTE, 3., 1998, Canoas, RS. **Anais** [...]. Canoas, RS: ULBRA, 1998. p. 54-107.

NABINGER, C.; PONTES, L. S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura de pasto. *In*: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais** [...]. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiros, 2001. p. 755-771.

NABINGER, C. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtropico brasileiro. *In*: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 1., 2006, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: UFRGS, Porto Alegre, 2006. p. 25-76.

NABINGER, C.; CARVALHO, P. C. F. Ecofisiología de sistemas pastoriles: aplicaciones para sustentabilidad. **Agrociência**, Chapingo, México, v. 13, n. 3, p. 18-27, 2009.

NEVES, F. P. *et al.* Estratégias de manejo da oferta de forragem para recria de novilhas em pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 1532-1542, 2009.

OVERBECK, G. E.; VELEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, United Kingdom, v. 21, p. 1455-1460, 2015.

PAULA, G. M.; STRECK, N. A. Temperatura base para emissão de folhas e nós, filocrono e plastocrono das plantas daninhas papuã e corriola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p 2457-2463, 2008.

PILLAR, V. P. *et al.* **Campos Sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília/DF: MMA, 2009.

PINTO, L. F. M.; BARIONI, L. G.; SILVA, S. C. Sasonal patterns of growth and senescence in *Cynodon* spp. Tifton 85 grazed swards. *In*: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro, SP. **Proceedings** [...]. Piracicaba: [s. n.], 2001. v. 2, p. 82.

PROVENZA, F. D. Twenty-five years of paradox in plant-herbivore interactions and "sustainable" grazing management. **Rangelands**, [S. l.], v. 25, n. 6, p. 4-15, 2004.

QUADROS, F. L. F.; TRINDADE, J. P. P; BORBA, M. A abordagem funcional da ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento pelos produtores rurais. *In*: PILLAR, V. P. (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 206-214.

ROYO PALLARÉS, O.; BERRETTA, E. J.; MARASCHIN, G. E. The south american campos ecosystem. *In*: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G.; BATELLO, C. (ed.). **Grasslands of the world**. Rome: FAO, 2005. Chap. 5, p. 171-219.

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M.; GOMES, V. M. Relationship between morphogenesis and tiller dynamics in signalgrass pastures. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 201-209, 2013.

SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. Ecophysiology of C4 forage grasses— understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, Basel Switzerland, v. 5, n. 3, p. 598-625, 2015.

SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G.; BATELLO, C. Grassland perspectives. *In*: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G.; BATELLO, C. (ed.). **Grasslands of the world**. Rome: FAO, 2005. Chap. 12, p. 463-494.

TRINDADE, J. K. *et al.* Forage allowance as a target of grazing management: implications on grazing time and forage searching. **Rangeland Ecology & Management**, Lakewood, Colo, v. 65, p. 382-393, 2012.

WEITHER, E.; VANS DER WERF, A.; THOMPSON, K. Challenging Theophrastus: A common core list of plants traits for functional ecology. **Journal of Vegetational Science**, Sweden, v. 10, p. 609-620, 1999.

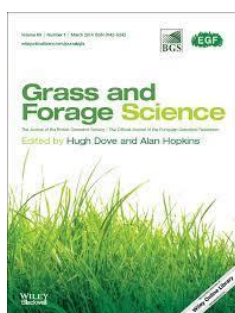
## APÊNDICE

## OPÇÕES PARA SUBMISSÃO

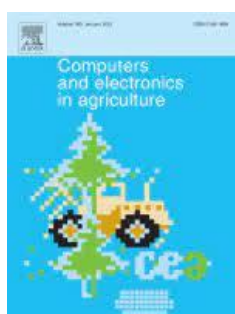
Periódico (Qualis e FI): Agriculture, Ecosystems & Environment, A1, FI: 3.541



Periódico (Qualis e FI): Grass and Forage Science (Print) A1 FI:1,574



Periódico (Qualis e FI): Computers and Electronics in Agriculture, A1, FI: 2.427



Periódico (Qualis e FI): Scientific Reports, A1, FI:4.996



## VITA

Jonatas Cezar da Silva, filho de Adão Edonir Rodrigues da Silva e Rosani Maria Cezar da Silva, nascido em 20 de outubro de 1992, na cidade de Santa Maria - RS. Estudou na Escola Municipal de Ensino Fundamenta Coqueiros na cidade de São Vicente do Sul, onde finalizou o 1º grau no ano de 2006. Concluiu o ensino médio, integrado ao ensino técnico no Curso Técnico em Agropecuária com Habilitação em Zootecnia em 2010, no Instituto Federal Farroupilha (IFF) – campus São Vicente do Sul. Em 2010, ingressou no curso de Bacharelado em Zootecnia na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) - campus Dom Pedrito, onde foi bolsista voluntário pelo Grupo de Estudo Pesquisa e Extensão em Sistemas Produtivos do Pampa (GESPampa), sob orientação do Professor José Acélio Silveira da Fontoura Júnior. Formou-se no ano de 2015. Em abril de 2016 ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof. Dr. Paulo César de Faccio Carvalho, obtendo título de mestre em zootecnia em abril de 2018, no mesmo ano ingressou no Doutorado em Zootecnia na UFRGS sob orientação do prof. Dr. Paulo Carvalho. No Grupo de Pesquisa em Ecologia do Pastejo | GPEP, foi responsável e conduziu um dos mais antigos experimentos de pastejo em pastagens naturais durante três anos (agosto de 2018 a fevereiro de 2021), teve oportunidades ímpares em sua vida. Com alívio de quem finaliza uma etapa, defende a sua tese em agosto de 2022.