

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

Juliane Machado de Castro
Zootecnista/UTFPR
Mestre em Zootecnia/UFRGS

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA:
ESTABILIDADE PRODUTIVA FRENTE A VARIABILIDADE DAS CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS NO RIO GRANDE DO SUL

Porto Alegre (RS), Brasil.
Setembro, 2020.

JULIANE MACHADO DE CASTRO

**SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA:
ESTABILIDADE PRODUTIVA FRENTE A VARIABILIDADE DAS
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO RIO GRANDE DO SUL**

Tese apresentada como um dos requisitos à obtenção do Grau de Doutora em Zootecnia. Área de Concentração Plantas Forrageiras. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador (a): Dra. Carolina Bremm

Porto Alegre (RS), Brasil.

Setembro, 2020.

CIP - Catalogação na Publicação

de Castro, Juliane Machado
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA:
ESTABILIDADE PRODUTIVA FRENTE A VARIABILIDADE DAS
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO RIO GRANDE DO SUL /
Juliane Machado de Castro. -- 2020.
110 f.
Orientadora: Carolina Bremm.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2020.

1. Variações meteorológicas. 2. Eventos
Meteorológicos Adversos. 3. Sistemas Integrados de
produção de alimentos. 4. Estabilidade Temporal. 5.
Produção de carne e grãos. I. Bremm, Carolina, orient.
II. Título.

Juliane Machado de Castro
Mestre em Zootecnia

TESE


Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

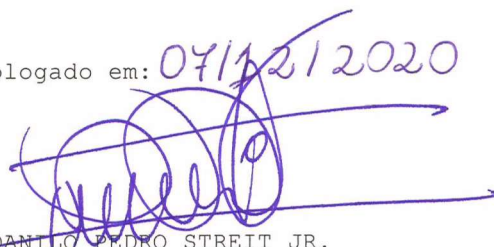
DOUTORA EM ZOOTECNIA


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


Aprovada em: 29.09.2020
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 07/12/2020
Por


CAROLINA BREMM
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientadora


DANILLO PEDRO STREIT JR.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia


Amanda Heemann Junges
DDPA/SEAPDR


Jean Victor Savian
INIA/UY


Taise Robinson Kunrath
Instituto de Zootecnia/SP


CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos do doutorado em pouco diferem do mestrado, porém algumas situações especiais marcaram profundamente o curso dessa história...

Por isso não poderia ser diferente, começo agradecendo a DEUS, Ele, meu Pai eterno, grandioso e maravilhoso, pelo infinito e incompreensível amor, cuidado e esperança, em TODOS os momentos.

Aos familiares, esses que estiveram comigo sempre, filhotes Ana Julia e Yan, que cresceram vendo a mãe estudar e me fizeram ter forças para continuar, e minha mãe, peça fundamental na minha formação, sem ela nada teria sido feito. Obrigada sempre mãe!

Aos demais, porém não menos importantes... Prof. Poli, amigo, sempre muito humano e compreensivo comigo. Carolina Bremm, minha excepcional orientadora, a qual sempre foi compreensiva em todas as minhas fases difíceis. Aos professores que participaram direta e indiretamente desta etapa e das anteriores também, pois não estaria aqui sem antes ter passado por eles! Obrigada!

Agradeço a todos os colegas, pela ajuda prestada, pela amizade oferecida, pelo acolhimento, tanto profissional quanto pessoal, pelo companheirismo, trabalho, brincadeiras, oportunidades, artigos!

Jalise Tontini, quando lembro da minha carreira acadêmica não tem como não lembrar de ti com todo o carinho do mundo, minha amiga do peito, sinto muita saudade tua e aguardo pelo dia em que ficaremos RICAS E PHINAS para curtir e rir de todo o perrengue que passamos. Aos demais que não citei, mas que sabem o quanto foram presentes, agradeço muito.

DEDICATÓRIA

Essa dedicatória foge do padrão, e passa a ser uma carta a alguém que já se foi...

Loreno Nunes, meu falecido esposo, amigo, companheiro, pai, irmão, parceiro! Te dedico essa tese, e te dedico esse título de doutora! Tu, que sempre me dizia em tom de brincadeira que não via o fim desse doutorado e nem o dinheiro que se espera (a maioria espera) por um título de doutorado... Te digo que, se cheguei até aqui, com TODA a certeza tu foi a pessoa mais importante nessa trajetória... Jamais, sequer por um dia, esquecerei de ti, JAMAIS.

Obrigada por me permitir ter tido as melhores experiências, ter me permitido amar e ser amada, a descobrir o verdadeiro valor de uma vida, o valor de uma boa refeição, o valor de momentos simples com quem amamos, o valor real das coisas, momentos, pessoas, e não o preço... Isso foi tão importante na formação de novos conceitos, e se hoje eu uma pessoa um pouquinho melhor, tu podes ter toda a certeza que devo isso a tua presença na minha vida, e a Deus por ter me permitido conhecer você!

Obrigada por ter me acompanhado no meu encontro com Deus e me acompanhar na busca pela salvação e vida eterna, me preparando a cada dia para os momentos que eu enfrentaria após tua partida! Obrigada pelo filho lindo que me deu e por todo amor que dedicou a ele e a nossa menina, pois a considerava tua também! Por cada palavra dita e cada momento de silêncio que me fizeram aprender mais da vida em 4 anos de casamento do que uma vida toda vivida antes dele! Obrigada por ter me apoiado sempre, mesmo nas piores situações e piores momentos, quando muitas vezes eu tive vontade de desistir de tudo e cuidar somente de ti, ainda assim, não permitiu que eu abandonasse os meus sonhos!

Cada dia passado ao teu lado, tenha sido bom ou nem tanto assim, cada experiência vivida ao teu lado, dor, alegrias, medo, angústia, entusiasmo, felicidade, cada momento desses, por menor que seja, tornaram nossa história especial e inesquecível! E por mais que a minha vida tenha continuado, teu lugar continua o mesmo dentro do meu coração! Gostaria de contar aqui nossa história toda, porém não cabe dentro de uma tese, então deixo pra quando eu criar coragem de escrever um livro!

Te amarei para sempre, meu "véio"!

Kore kara wa ose o nani naremasu! Tenshi no!

SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: ESTABILIDADE PRODUTIVA FRENTE A VARIABILIDADE DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO RIO GRANDE DO SUL

Autor: Juliane Machado de Castro
Orientador: Carolina Bremm

Resumo – Este trabalho consistiu na avaliação de um sistema integrado de produção agropecuária (SIPA) de longo prazo (14 anos), composto por duas fases distintas. Fase pecuária: azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) submetido ao pastejo de cordeiros no inverno/primavera; Fase lavoura: monocultura de soja (*Glycine max* L. Merr) e rotação soja-milho (*Zea mays* L.) em sistema de plantio direto no verão/outono. O experimento foi realizado na Estação Experimental Agronômica (EEA), pertencente a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), localizado no município de Eldorado do Sul, Brasil. O experimento foi delineado em blocos completos casualizados em arranjo fatorial 2 x 2 balanceado, utilizando dois métodos de pastoreio (contínua e rotativo) e duas intensidades de pastejo (baixa e moderada). O primeiro estudo (capítulo II) avaliou a relação dos eventos meteorológicos adversos à produção de ovinos em pastagem e lavoura de soja no sul do Brasil com a produtividade do SIPA manejado com diferentes métodos de pastoreio e intensidades de pastejo na fase pecuária. O percentual de dias quentes (temperatura do ar máxima acima da média mensal histórica + 2 DP) e dias consecutivos de onda de calor (Período máximo > 5 dias consecutivos com temperatura máxima > 5°C da média mensal histórica) reduziram a produção de proteína do sistema, porém, de forma isolada, os mesmos mostraram efeitos distintos para cada fase. Os dias chuvosos (Porcentagem de dias com precipitação pluvial acima da média mensal histórica + 2 DP) proporcionaram aumento na produção de proteína do sistema, tendo efeitos positivos sobre a produtividade da lavoura de soja. Os métodos de pastoreio e intensidades de pastejo não influenciaram na produção de proteína do sistema. O segundo estudo (capítulo III) avaliou a influência do método de pastoreio e intensidade de pastejo na estabilidade da produção de energia metabolizável do SIPA (carne e grãos). O método de pastoreio não afetou a estabilidade temporal da produção de energia metabolizável da forragem e da produção animal durante a fase pecuária, porém a intensidade de pastejo baixa se mostrou mais estável para ambas. Para a estabilidade da fase lavoura e do sistema, não foi observada influência dos métodos de pastoreio e das intensidades de pastejo. O uso de baixa intensidade de pastejo sob lotação rotacionada ou contínua proporcionou maior estabilidade da produção de energia metabolizável do SIPA na fase pecuária ao longo do tempo, não afetando estabilidade da fase lavoura e do sistema.

¹Tese de Doutorado em Zootecnia – Plantas Forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, (110f.). Setembro, 2020.

INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS: PRODUCTIVE STABILITY IN FRONT OF THE VARIABILITY OF WEATHER CONDITIONS IN RIO GRANDE DO SUL

Author: Juliane Machado de Castro

Adviser: Carolina Bremm

Abstract – This work consists of the evaluation of a long-term integrated crop-livestock system (ICLS) (14 years), composed of two distinct phases. Livestock stage: annual ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) Grazing lambs in winter / spring; Crop phase: soybean monoculture (*Glycine max* L. Merr) and soybean-corn rotation (*Zea mays* L.) under no-tillage system in summer / autumn. The experiment was carried out at the Experimental Agronomic Station (EEA), belonging to the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), located in the municipality of Eldorado do Sul, Brazil. The experiment was designed in randomized complete blocks in a 2 x 2 balanced factorial arrangement, using two stocking methods (continuous and rotational) and two grazing intensities (low and moderate). The first study (chapter II) evaluated the relationship of adverse weather events to sheep production in pasture and soybean crop in southern Brazil with the productivity of SIPA managed with different grazing methods and grazing intensities in the livestock phase. The percentage of hot days (maximum air temperature above the historical monthly average + 2 SD) and consecutive days of heat wave (Maximum period > 5 consecutive days with maximum temperature > 5 ° C of the historical monthly average) reduced protein production of the system, however, in isolation, the same affected different for each phase. The intense rain (Percentage of days with rainfall reduction above the historical monthly average + 2 SD) caused an increase in the production of protein in the system, having positive effects on the productivity of the soybean crop. The stocking methods and grazing intensities do not lead to the production of protein in the system. The second study (chapter III) evaluated the influence of the stocking method and grazing intensity on the stability of the metabolizable energy production of SIPA (meat and grains). The stocking method did not affect the temporal stability of the production of metabolizable energy from forage and animal production during a livestock phase, however the low grazing intensity became more stable for both. For the stability of the crop phase and the system, it was not possible to reach the stocking methods and the grazing intensities. The use of low grazing intensity under rotated or continuous stocking provided greater stability in the production of metabolizable energy of SIPA in the livestock phase over time, without affecting the stability of the crop phase and the system.

¹PhD Thesis in Animal Science – Forage Plants, Faculty of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, (110p.). September, 2020.

Sumário

CAPÍTULO I	14
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3 HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	27
CAPÍTULO II	28
INFLUÊNCIA DOS EVENTOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS SOBRE A PRODUTIVIDADE DE UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUL DO BRASIL	28
1. <i>Introdução</i>	30
2. <i>Material e Métodos</i>	32
3. <i>Resultados</i>	40
4. <i>Discussão</i>	43
5. <i>Conclusão</i>	47
<i>Referências</i>	48
CAPÍTULO III	52
WELL-MANAGED PASTURES PROVIDE GREATER FOOD PRODUCTION STABILITY IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS	52
1. <i>Introduction</i>	54
2. <i>Material and Methods</i>	56
3. <i>Results</i>	62
4. <i>Discussion</i>	65
5. <i>Conclusion</i>	68
<i>References</i>	69
CAPÍTULO IV	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
REFERÊNCIAS	79
ANEXO	85
VITAE	110

Relação de Tabelas

CAPÍTULO28

Tabela 1. Descrição dos índices de eventos meteorológicos adversos a um SIPA composto por produção de ovinos em pastagem de azevém durante o inverno, sucedido por lavoura de soja no verão na região Sul do Brasil.....37

Tabela 2 - Médias e desvio padrão das variáveis na fase pecuária, fase lavoura e do SISTEMA (ano agrícola) em SIPA manejado sob diferentes métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e intensidades de pastejo (baixa e moderada) (2003 a 2017).....40

Tabela 3 - Variáveis meteorológicas adversas com influência na produção de proteína do SISTEMA (kg PB ha⁻¹), selecionados pelo modelo de regressão múltipla.41

Tabela 4 - Grupos (*Cluster*) de anos de acordo com os eventos meteorológicos adversos com influência sobre a produtividade do SISTEMA (média ± erro padrão da média).41

Tabela 5 - Grupos (*Cluster*) de anos de acordo com os eventos meteorológicos adversos com influência sobre a produtividade do SISTEMA (Média ± erro padrão da média)41

CAPÍTULO III.....52

Table 1. Herbage, animal, grain and system production data (average values ± standard deviation) used to calculate the stability index of the system in different stocking methods (continuous or rotational) and grazing intensities (low or moderate) in the livestock phase of an ICLS.63

Relação de Figuras

CAPÍTULO II.....28

Figura 1 – Comportamento dos eventos meteorológicos adversos em um SIPA composto por produção de ovinos em pastagem de azevém durante o inverno, sucedido por lavoura de soja no verão na região Sul do Brasil, de 2003 a 2017.....38

Figura 2. Produção do SISTEMA (kg PB ha⁻¹), por *cluster*, em função dos métodos de pastoreio e intensidades de pastejo.....42

Figura 3. Correlações entre a produção de proteína na fase pecuária (a) e na fase lavoura (b) e os eventos meteorológicos adversos.....43

CAPÍTULO III.....52

Figure 1. Monthly average air temperature and precipitation at the experimental site. Shown are the historical averages from 1970 to 2016 (46 years) collected daily by a weather station located at approximately 800 m of the trial site (EEA-UFRGS).....57

Figure 2. Temporal stability of total herbage production (THP) and live weight gain (LWG) in the livestock phase of an ICLS as a function of stocking methods and grazing intensities.63

Figure 3. Temporal stability of soybean grain yield (SGY) in the crop phase and of total system production (metabolizable energy production of the system, MEP) in an ICLS as a function of stocking methods and grazing intensities management in the livestock phase.63

Relação de Abreviaturas e Símbolos

ADG	average daily gain
ANOVA	analysis of variance
CB	contínuo baixo
CA	carga animal
CDS	número de dias consecutivos de seca
CM	contínuo moderado
Cm	centímetros/centimeters
COC	número de dias consecutivos de onda de calor
DC	dias chuvosos
DF	dias frios
DG	dias de geada
DHA	daily herbage allowance
DM	dry matter
DS	dias secos
DP	desvio padrão
DQ	dias quentes
DVF	duração de vida da folha
EEA	Estação Experimental Agronômica
EM	energia metabolizável
EPM	erro padrão da média
g	gramas/grams
GHA	ganho de peso vivo por hectare
GMD	ganho médio diário
HA	herbage allowance
ha	hectares
<i>i.e.</i>	<i>id est</i> (isto é; latim)
ICLS	integrated crop-livestock system(s)
K	potassium/potássio
K ₂ O	potassium oxide/óxido de potássio
km	quilômetros/kilometers

LC	low continuous
LR	low rotational
LW	live weight
LWG	live weight gain per hectare
m	metros/meters
MC	moderate continuous
Mg	megagramas/megagrams
MJ	mega joule
mm	milimeters/milímetros
MR	moderate rotational
MS	matéria seca
N	nitrogen/nitrogênio
OC	onda de calor
PB	proteína bruta
PBCarne	proteína bruta da produção animal na fase pecuária
PBSist	proteína bruta do sistema
PBSoja	proteína bruta da soja na fase lavoura
PS	produção de soja
PV	peso vivo
PVM	peso vivo médio
P	phosphorus/fósforo
P ₂ O ₅	phosphorus pentoxide
RB	rotativo baixo
RM	rotativo moderado
SIPA	Sistema(s) Integrado(s) de Produção Agropecuária
SGY	soybean grain yield
SR	stocking rate
St	temporal stability
T max	maximum temperature
T med	medium temperature
T min	minimum temperature
THP	total herbage production

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

No último século, o planeta tem passado por constantes e crescentes alterações meteorológicas, quando comparado ao período pré-industrial (IPCC, 2013), e é conhecido que a interferência antropogênica é responsável por grande parte do impacto ambiental negativo (Hautier *et al.*, 2015). Além disso, previsões indicam que as mudanças nos padrões meteorológicos impulsionadas pelo homem aumentarão a probabilidade de eventos meteorológicos adversos, como aumento da temperatura, ondas de calor, aumento na frequência de períodos de seca, ciclones tropicais, marés altas e chuvas intensas, aumentando ainda mais a vulnerabilidade agrícola (Min *et al.*, 2011; FAO, 2017; IPCC, 2018).

Embora os efeitos do aumento da temperatura do ar associado a mudanças nos padrões de precipitação pluvial não sejam prejudiciais e intensos em todos os lugares do globo (Xu *et al.*, 2018; IPCC, 2018), prevê-se que o rendimento das culturas reduza nos trópicos e subtropicais em 10 a 20% até 2050 devido à combinação de calor e seca, podendo ser mais graves em alguns lugares específicos (Jones e Thornton, 2003; IPCC, 2018). Em contrapartida, o crescimento populacional está em rápida ascensão. Segundo relatório das Nações Unidas (ONU, 2019), no ano de 2050, a população mundial chegará a 9,7 bilhões, um crescimento de mais de 2 bilhões de pessoas em 30 anos e, devido a urbanização e a maior renda *per capita*. Isso aumentará a demanda por alimentos em pelo menos 50%(FAO, 2017), exigindo que a produção agrícola seja também aumentada por meio de sistemas de produção sustentáveis (Nellemann *et al.*, 2009; Foley *et al.* 2011; FAO, 2017) para equilibrar a conta.

A agricultura orientada para a intensificação sustentável depende de princípios ecológicos, como biodiversidade, conectividade e heterogeneidade, para promover a produtividade, eficiência, resiliência e estabilidade do agroecossistema e reduzir os impactos socioeconômicos e ambientais indesejáveis promovidos ou não pelas mudanças nos padrões meteorológicos (Bonaudo *et al.*, 2014; Altieri *et al.*, 2015, Ma *et al.*, 2017). Nesse contexto, sistemas agrícolas dotados de maior diversidade costumam ser menos vulneráveis às oscilações de fatores externos (Gaudin *et al.*, 2015). Os sistemas

integrados de produção agropecuária (SIPA) são alternativas para atender a esses objetivos (Lemaire *et al.*, 2014; Bonaudo *et al.*, 2014; Franzluebbbers *et al.*, 2014; Garrett *et al.*, 2017), pois são planejados para explorar a produção agrícola e animal e suas interações em diferentes escalas espaço-temporais.

O SIPA pode reduzir a dependência do sistema de entradas externas, tais como fertilizantes de origem industrial, pesticidas, irrigação e combustíveis fósseis (Stoate *et al.*, 2001), aumentando sua resiliência e autossuficiência (Stark *et al.*, 2016; Stark *et al.*, 2018; Paramesh *et al.*, 2020), além de proporcionar melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo resultantes do aumento da diversidade funcional, reciclagem de nutrientes e regulação de pragas e doenças (Morecroft *et al.*, 2012; Altieri *et al.*, 2015; Rapidel *et al.*, 2015; Garrett *et al.*, 2017; Migliorini e Wezel, 2017). Além disso, o uso de rotação de culturas com inserção do componente animal pode trazer benefícios ao sistema, reduzindo os riscos ocasionados pela variabilidade das condições meteorológicas, além de permitir a melhor utilização de recursos e da área, diversificação e aumento da renda dentro da propriedade (Bell e Moore, 2012; Ryschawy *et al.*, 2012, Campbell *et al.*, 2014, Carvalho *et al.*, 2018, Dias, 2018).

A suscetibilidade a oscilações de produção agrícola e pecuária é causada tanto pela variabilidade meteorológica quanto pela natureza do manejo agrícola em vigor. Em um SIPA, a compreensão dos efeitos dos métodos de pastoreio e das intensidades de pastejo tem sido considerado fundamental para a rentabilidade desse modelo de agricultura (Moraes *et al.*, 2014; Kunrath *et al.*, 2020), pois se referem às principais ações de manejo dos animais, com reflexos no desempenho do sistema como um todo (Carvalho *et al.* 2018). Dentre os sistemas de manejo do pastoreio, a intensidade do pastejo é o fator chave que impulsiona vários processos ecológicos e produtivos (Garrett *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2018). Um estudo recente (Nunes, 2020) mostrou que a integração da pecuária em sistemas de soja aumentou a estabilidade dos rendimentos e da lucratividade do SIPA em comparação com o sistema não integrado. O autor também constatou que a intensidade de pastejo é um fator importante para a estabilidade desse sistema, que consiste na capacidade de

um sistema de se manter com menores variações frente a impactos externos (Angeler e Allen, 2016).

Os efeitos do estresse térmico e da seca também são considerados por Pareek *et al.* (2020), Ahuja *et al.* (2010) e Sanallah *et al.* (2014) como limitação importante no crescimento e desenvolvimento de espécies de plantas de clima temperado e influência direta na composição bioquímica da planta e armazenamento de carbono no solo. Portanto, para orientar a evolução dos SIPA sob a ótica dos eventos meteorológicos adversos são necessárias informações sobre estas questões, pois há carência de estudos que avaliam a relação do manejo e diversidade de componentes sobre a estabilidade da produção de alimentos e a relação entre as mudanças nos padrões meteorológicos e a produtividade de SIPA em diferentes configurações.

Com essa visão, a hipótese proposta no capítulo II é que o uso de diferentes métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e intensidades de pastejo (baixa e moderada) na fase pecuária modulam a produção de proteína do SIPA em situações meteorológicas adversas (dias chuvosos, dias secos, dias de geada, dias quentes, dias frios, números de dias consecutivos de onda de calor e dias secos) para a produção de ovinos em pastagem de azevém e lavoura de soja no Sul do Brasil. Já no capítulo III a hipótese proposta é que o método de pastoreio contínuo e intensidade de pastejo baixa fazem com que a produção de energia metabolizável do SIPA se mantenha mais estável ao longo do tempo em relação ao método rotativo e intensidade moderada.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se existe um método de pastoreio e intensidade de pastejo utilizado durante a fase pecuária que potencializa a produção de proteína do SIPA (grãos e carne) frente aos eventos meteorológicos adversos em um experimento de longo prazo no sul do Brasil e avaliar a estabilidade temporal da produção de energia metabolizável de um SIPA submetido a dois métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e duas intensidades de pastejo (moderada e baixa) durante a fase pecuária.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Produção de alimentos e mudanças meteorológicas*

Segundo relatório das Nações Unidas (ONU, 2019), no ano de 2050, a população mundial chegará a 9,7 bilhões, um crescimento de mais de 2 bilhões de pessoas em 30 anos, podendo trazer várias consequências negativas. Dentre elas, a mais preocupante é a escassez de alimentos, pois a produção mundial de alimentos está em crescente demanda, ao passo do crescimento populacional. Estima-se que até 2050, o consumo global de alimentos será o dobro do atual (FAO, 2017). Com o aumento da população e desenvolvimento dos países, também há aumento da poluição e desperdícios, que implica na degradação de muitos ecossistemas naturais, ocasionando danos permanentes e mudanças drásticas no clima global (IPCC, 2018).

Na tentativa de mitigar os danos ao planeta e a população, cada vez mais tem se buscado meios de preservação dos recursos naturais, pois é conhecido que a interferência antrópica tem causado grande impacto ambiental (Hautier *et al.*, 2015), com graves consequências já sentidas nos dias de hoje. Segundo dados do IPCC (2013) a temperatura média do ar global tem aumentado 0,065 °C por década desde os anos de 1880, acompanhada de mudanças significativas nos padrões de precipitação pluvial. O relatório climático realizado pela *World Meteorological Organization* (ONU, 2019) indica que a temperatura média do ar global para 2016-2020 deve ser a mais quente já registrada, cerca de 1,1 °C em comparação com os anos de 1850-1900 (um período de referência para a mudança de temperatura) e 0,24 °C mais quente do que a temperatura média do ar global para 2011-2015.

De acordo com a WMO (2020), o ano de 2019 foi um dos anos mais quentes em todo o mundo, tendo sofrido com grandes ondas de calor. Entre os mais significativos, podemos citar uma onda de calor que ocorreu na Europa no final de junho e atingiu sua intensidade máxima em sul da França, onde um recorde nacional de 46,0 °C (1,9 °C acima do recorde anterior) e na Austrália, em Nullarbor Roadhouse, atingindo 49,9 °C em 19 de dezembro, a maior temperatura na Austrália desde 1998. As temperaturas extremas abaixo da

média em 2019 também ocorreram com maior intensidade na América do Norte, sendo registrado uma onda de frio intenso no meio-oeste dos Estados Unidos no final de janeiro, incluindo um registro do estado de Illinois de 38,9 °C. Em 2020, no Brasil, ondas de calor também tem ocorrido, chegando a temperaturas recordes superiores a 44°C em 25/09, em Nova Maringá (MT) (INMET, 2020).

No Rio Grande do Sul, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) tem registrado ondas de calor desde março de 2020, com temperaturas do ar chegando a atingir 7°C acima da média histórica em cidades como Uruguaiana, São Borja e Alegrete (41°C). O Estado tem como característica o clima Temperado do tipo Subtropical, classificado como Mesotérmico Úmido (classificação de Köppen), com grande variação sazonal nas temperaturas, entre mínimas de até -10°C e máximas de 40°C, com verões quentes e invernos bastante rigorosos (INMET, 2020). Além disso, O Estado do Rio Grande do Sul também é caracterizado pela ocorrência de geadas e precipitação eventual de neve, e uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano (1.299 a 1.800mm), (INMET, 2020). Entretanto, estudos têm mostrado tendências de aumento das chuvas anuais (Cera e Ferraz, 2015), além de tendência de aumento das chuvas no verão (Sansigolo e Kayano, 2010).

Cada vez mais pode ser sentido e observado que as alterações meteorológicas têm gerado comportamento irregular das temperaturas do ar e precipitação pluvial, e essas variações têm grande influência nos setores primários, na produção agrícola, por exemplo (Hsiang e Meng, 2015). Entre 2006 e 2016, a produção de alimentos (grãos, gado, silvicultura, pesca e aquicultura) nos países em desenvolvimento foi responsável por cerca de 26% das perdas ocorridas durante desastres meteorológicos de média e grande escala, devido principalmente a danos às lavouras causados por inundações e ao setor pecuário, atribuídos à seca (WMO, 2020). Em um estudo que avaliou o aquecimento do ar e alterações na precipitação pluvial os autores demonstraram que o aquecimento do ar poderá prejudicar os serviços ecossistêmicos para as populações, pois reduzirá a variabilidade de espécies e assim, algumas deixarão de compor a biomassa da comunidade de plantas (Ma *et al.*, 2017), o que causará uma mudança na relação homem/ecossistema.

As alterações meteorológicas são uma constante preocupação quando o assunto é segurança alimentar para as próximas gerações, pois elas têm efeitos distintos em diferentes regiões do globo, o que faz com que haja lacunas sobre seu real efeito em diferentes sistemas alimentares. Esses fatores fortalecem a necessidade de estudos sobre sistemas sustentáveis de produção, com um entendimento das respostas dos fatores envolvidos, para prevenir ou mitigar as consequências das mudanças meteorológicas (FAO, 2017).

2.2 Estabilidade temporal, sua relação com as mudanças meteorológicas e importância para a produção de alimentos

Um dos atributos básicos de um ecossistema é a sua estabilidade temporal (Pim, 1984; Ives & Carpenter, 2007), ou seja, a capacidade desse sistema de se manter estável ao longo do tempo, podendo ser também considerado um retorno ao equilíbrio (Lehman e Tilman, 2000). A estabilidade está relacionada à capacidade de um sistema seguir com pequenas variações ao longo do tempo, mesmo em face de distúrbios. Estatisticamente a estabilidade temporal de um ecossistema é a razão entre a média de sua produtividade e o desvio padrão (Lehman e Tilman, 2000). Sendo assim, quanto maior o índice obtido, menor a variabilidade e maior a estabilidade.

Há resultados que sugerem maior estabilidade na produtividade em ambientes pastoris diversificados (ISBELL et al., 2015). Lehman e Tilman (2000) comentam que a estabilidade temporal de comunidades inteiras tende a aumentar de forma linear com o aumento da diversidade, devido a maior produtividade dessas comunidades mais diversas. Entretanto, Finlay e Wilkinson (1963) explicam que maior estabilidade nem sempre significa maior produtividade, mas menores oscilações, podendo ocorrer situações onde a produtividade seja baixa e estável (ou vice e versa) em comparação com situações que a produtividade seja alta em um dado momento, mas frente a algum distúrbio a mesma não se mantenha. Alguns autores (Pimm, 1984; Lehman e Tilman, 2000; Isbell et al., 2015), sustentam que o aumento da complexidade de um ecossistema permite que o mesmo também tenha maior estabilidade temporal, pois em comunidades mais diversas há maiores chances

de conter espécies resistentes a impactos ambientais (Loreau & Hector, 2001; Oliver *et al.*, 2015).

O aumento da temperatura do ar tem sido avaliado como um dos fatores associados a redução da estabilidade temporal da produção. Ma *et al.* (2017) observaram que a elevação da temperatura média do ar ao longo do tempo reduziu a estabilidade temporal da produção de biomassa em comunidades de plantas por reduzir a biodiversidade. Gaudin *et al.* (2015) relataram que a diversidade de rotação de culturas está associada a maior estabilidade da produção em anos quentes e secos e, embora a magnitude dos benefícios da rotação tenha variado com as culturas, padrões climáticos e preparo do solo, a estabilidade da produção aumentou significativamente quando o milho e a soja foram integrados em rotações mais diversas, demonstrando que a diversificação da sequência de cultivo também fornece uma abordagem de sistemas para reduzir as variações de rendimento e melhorar a resiliência a vários estresses ambientais. A diversificação aumenta a estabilidade, pois cada espécie responde de forma diferente as flutuações ambientais (Lehman e Tilman, 2000).

Um estudo recente mostrou que a integração da pecuária em sistemas de soja, onde o gado pastava em safras de inverno entre duas safras sucessivas de soja, aumentou a estabilidade dos rendimentos e da lucratividade do SIPA em comparação com o sistema não integrado (Nunes, 2020). O autor também constatou que a intensidade de pastejo foi um fator importante para a estabilidade desse sistema, com os melhores resultados para a estabilidade da produção de alimentos obtidos quando as pastagens foram pastejadas sob intensidades moderadas. Ainda assim, esse estudo foi o primeiro a investigar exaustivamente a estabilidade dos sistemas agrícolas induzida pela integração lavoura-pecuária, de modo que ainda há espaço para melhorar o entendimento sobre a estabilidade do SIPA quando sujeito a uma variedade de práticas de manejo, como o ICLS, com maior diversidade de culturas ou diferentes métodos de pastoreio.

2.3 Sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA)

Os SIPA são reconhecidos pela *Food Agriculture Organization* (FAO, 2010), como sistemas produtivos sustentáveis e promissores que são capazes de aliar a produção de alimentos com a responsabilidade ambiental, devido às interações entre seus componentes – clima, solo, planta e animal, tratando do meio ambiente como um todo (Moraine *et al.*, 2016). Os SIPA são considerados um caminho viável para a intensificação sustentável da produção de alimentos (Ryschawy *et al.*, 2012), principalmente em um cenário global de aquecimento da temperatura do ar e oscilações na precipitação pluvial, o qual tem cada vez maior intensidade e efeitos. Para que esses sistemas tragam benefícios, o arranjo e a gestão de seus componentes devem ser bem planejados. A diversificação de culturas integrada com plantio direto e produção pecuária, pode ser uma alternativa desejável aos sistemas de produção intensiva de monoculturas. Gaudin *et al.* (2015) verificaram que em anos quentes e secos em Ontário, Canadá, a diversificação das rotações milho-soja e a redução do preparo do solo aumentaram o rendimento em 7 e 22% para milho e soja, respectivamente.

Em um SIPA, uma fase de pastagem com animais pode ser usada em alternância com culturas anuais, adicionando complexidade ao sistema que, no entanto, requer manejo adequado para não reduzir a produtividade de qualquer fase. Com a sua utilização é possível diversificar áreas cultivadas, promovendo a implantação de pastagens destinadas à engorda e terminação de animais com menor custo de produção total (Balbinot JR. *et al.*, 2009). Briske & Heitschmidt (1991) apresentam a estrutura de um ecossistema pastoril como a interação equilibrada entre componentes bióticos (plantas, animais, etc.) e abióticos (solos, clima, etc.), da qual depende a sustentabilidade do ecossistema. Segundo Carvalho (2005), uma das limitações na produção primária é a disponibilidade de fatores abióticos (água, temperatura e nutrientes), que podem impedir o desenvolvimento de área foliar suficiente para a máxima captação da radiação fotossinteticamente ativa. Ma *et al.* (2017) identificaram que gramíneas se sobressaíram em ocasiões de estresse devido ao aumento da temperatura do ar e mudanças nos padrões de precipitação pluvial, e atribuíram o sucesso

principalmente ao seu sistema radicular bem desenvolvido. O azevém anual (*Lolium multiflorum*, L.), que é uma gramínea cultivada de ciclo hibernal, tem sua produtividade relacionada a diversos fatores, tanto características genéticas, quanto características ambientais, como temperatura, luz, suprimento de nutrientes e condições hídricas do solo, que interferem no crescimento e produtividade da planta e em sua fenologia (Lemaire; Chapman, 1996). Segundo Briske & Heitschmidt (1991), a produtividade secundária (produto animal/área/tempo) também tem limitações ecológicas, variando no tempo e no espaço juntamente com a produção primária, pois torna-se difícil ajustar a densidade de animais à flutuação de forragem. De acordo com Hodgson (1990), cada estágio de produção possui sua própria eficiência, a qual pode ser influenciada pelo manejo que, em conjunto, determina o nível de produção a ser atingido por um determinado sistema.

Nos sistemas de produção animal a pasto, as relações planta-herbívoro devem ser contextualizadas em novas formas de manejo, visto que a forma como o animal reage às variações estruturais da pastagem compõe o comportamento de pastejo (Carvalho & Moraes, 2005). Nesse sentido, a eficiência da utilização e conversão da forragem em produto animal (Valadares Filho *et al.*, 2006), bem como o manejo do animal em seu ambiente de pastejo exige novos conceitos de gestão e novas ferramentas para fazer frente aos paradigmas que envolvem a produção alimentar contemporânea (Carvalho *et al.*, 2009). Assim, a adoção de SIPA, com o uso de práticas adequadas de manejo racional dos recursos naturais e de insumos, é primordial para uma agricultura eficiente.

2.4 Métodos de pastoreio de intensidade de pastejo

Na produção de alimentos baseada em sistemas de produção animal a pasto, as relações planta-herbívoro devem ser contextualizadas em novas formas de manejo. Além de preocupar-se com a quantidade de alimento ofertado aos animais, o manejador deve estar atento ao controle e ao monitoramento da estrutura do pasto, com vistas a construir ambientes *pastoris* adequados, que possibilitem um consumo elevado de forragem e de nutrientes pelo herbívoro (Carvalho *et al.*, 2013) sem causar danos ao ambiente e assim, manter a

produção. Para que isso seja possível, métodos e intensidades de pastejo são componentes importantíssimos na construção de ambientes *pastoris* adequados à produção animal, que devem ser utilizados de forma racional, de acordo com a forragem e os objetivos da produção. Por conseguinte, o manejo do pastoreio não deve ser orientado unicamente para o foco de produção animal, mas para todos os processos envolvidos na produção, utilização e sustentabilidade de pastagens (Lemaire; Hodgson; Chabbi, 2011).

Segundo Parsons *et al.*, (1988), o manejo do pastoreio nada mais é que o compromisso entre a necessidade de se manter área foliar para a fotossíntese e a de colher o tecido foliar produzido, reduzindo perdas por senescência e morte de tecidos. O que se torna fundamental em qualquer estratégia de manejo é ajustar o oferecimento da forragem em uma quantidade que potencialize o consumo dos animais (Carvalho *et al.*, 2004). A produção animal a pasto, portanto, dependente da interação de vários fatores e, se a quantidade de forragem disponível não for limitante, o ganho de peso dos animais é, em grande parte, determinado pelo consumo voluntário de matéria seca digestível (Mertens, 1994). Segundo Laca (2009), o processo de pastejo pode ser interpretado como uma escala espaço-temporal, que envolve uma série de bocados que removem um conjunto de plantas por unidade animal. Por conseguinte, o manejo do pastoreio não deve ser orientado unicamente para o foco de produção animal, mas para todos os processos envolvidos na produção, utilização e sustentabilidade de pastagens (Lemaire; Hodgson; Chabbi, 2011).

A utilização adequada de intensidades de pastejo traz benefícios ao sistema, como maior agregação do solo na camada superficial (Souza *et al.* 2010, Conte *et al.* 2011), entre outros, contribuindo para bons resultados. Quanto maior a intensidade de pastejo, menor é a taxa inicial de rebrota e maior é o tempo necessário para que a planta atinja sua máxima eficiência fotossintética e sua máxima taxa de crescimento (Parsons *et al.*, 1988). Hodgson *et al.*, (1981) constataram que aumento na intensidade de desfolha resultava em pastagens de azevém perene com estrutura mais prostrada, o que pode contribuir para a prevenção do alongamento dos entre-nós, aumentando a relação folha/colmo. Para pastagens manejadas sob lotação intermitente (ex. pastoreio rotativo),

maiores intensidades de pastejo contribuem diretamente para a utilização mais eficiente da colheita de forragem disponível e, indiretamente, para a redução nas perdas por senescência e morte de tecidos no período de rebrota, contudo, há uma redução na eficiência de utilização, ou seja, produto animal produzido por unidade de forragem acumulada por área, o que introduz o conceito de conversão da forragem ingerida em produto animal (Hodgson, 1979). A adoção de diferentes intensidades de pastejo promove modificações na estrutura da pastagem, tanto na massa de forragem quanto na altura do pasto, como relatado por Barbosa *et al.*, (2007) e Macari *et al.*, (2011).

Freitas (2008), encontrou diferentes massas de forragens entre os métodos de pastoreio, onde o método rotativo foi superior ao contínuo. O autor explica que em tais tratamentos a frequência de desfolha pode ser controlada em função do período de descanso pós-pastejo, característica esta, inerente ao método de pastoreio rotativo, ou seja, as plantas dispunham de um tempo para se recuperar após o período de pastejo, produzindo maior quantidade de folhas e como consequência, acumulavam maior quantidade de tecidos até o momento que voltassem a ser pastejadas pelos animais. Barbosa *et al.*, (2007) ao avaliarem os métodos de pastoreio contínuo x rotativo, relatou que até o terceiro ciclo de pastejo, a taxa de acúmulo para o método contínuo foi maior que para o método rotativo, mas, ao final do período experimental (aproximadamente 30 dias do término do experimento), ocorreu o inverso. Os autores explicam que essa dinâmica da taxa de acúmulo de matéria seca se deve ao fato de que no método contínuo o azevém entra em período reprodutivo mais cedo do que no método rotativo. Penning *et al.*, (1994), afirma que quando a planta emite a estrutura floral, a taxa de acúmulo de forragem decresce, pois, a partir desse evento, começa a alocar metabólitos para a formação e o enchimento dos grãos e encerra a formação de novas folhas e perfilhos. O desempenho animal também é influenciado pelo método de pastoreio, como observado por Barbosa *et al.*, (2007), quando cordeiros submetidos ao método rotativo tiveram menor desempenho ao comparar com o método de pastoreio contínuo. Prache & Peyraud, (1997) citam que em virtude da altura da pastagem, da fibrosidade e

distribuição espacial das lâminas foliares e da presença de barreiras à desfolhação, como bainhas e colmos, a coleta pelo animal pode ser prejudicada.

Essa influência direta do manejo sobre a estrutura do pasto reflete na produção de matéria seca, que também pode ter efeito sobre o período reprodutivo do pasto. Além do manejo, outro fator de influência e grande importância sobre os ciclos de pastejo são as condições meteorológicas, pois estas são variáveis e podem alterar o florescimento, rebrote, etc., induzindo a formação de períodos distintos de crescimento do azevém em cada ano, acarretando em diferenças tanto na qualidade, massa de forragem e estrutura do pasto, quanto no desempenho dos animais manejados sob diferentes métodos de pastoreio (contínuo ou rotativo) e intensidades de pastejo (baixa ou moderada).

3 HIPÓTESE E OBJETIVOS

3.1 Hipótese

A hipótese deste estudo é que o uso de diferentes métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e intensidades de pastejo (baixa e moderada) na fase pecuária modulam a produção de proteína do SIPA em situações meteorológicas adversas (dias chuvosos, dias secos, dias de geada, dias quentes, dias frios, números de dias consecutivos de onda de calor e dias secos) para a produção de ovinos em pastagem de azevém e lavoura de soja no Sul do Brasil e o método de pastoreio contínuo e intensidade de pastejo baixa fazem com que a produção de energia metabolizável do SIPA se mantenha mais estável ao longo do tempo em relação ao método rotativo e intensidade moderada.

3.2 Objetivos

Os objetivos deste estudo foram i) avaliar a influência dos eventos meteorológicos adversos (dias chuvosos, dias secos, dias de geada, dias quentes, dias frios, números de dias consecutivos de onda de calor e dias secos) sobre a produção do SIPA, ii) determinar quais são dos eventos meteorológicos adversos de maior influência sobre a produção do SIPA, iii) definir o manejo da fase pecuária, em termos de método de pastoreio e intensidade de pastejo, que potencializa a produção de proteína do SIPA (grãos e carne) em eventos meteorológicos adversos a produção de ovinos em pastagem de azevém e lavoura de soja no Sul do Brasil, e iv) avaliar a estabilidade temporal da produção de energia metabolizável por fase e do SIPA quando utilizado dois métodos de pastoreio (contínuo ou rotativo) e duas intensidades de pastejo (baixa e moderada) na fase pecuária.

CAPÍTULO II

Influência dos eventos meteorológicos adversos sobre a produtividade de um Sistema Integrado de Produção Agropecuária no sul do Brasil

Influência dos eventos meteorológicos adversos sobre a produtividade de um Sistema Integrado de Produção Agropecuária no sul do Brasil

Resumo - Este trabalho estudou a relação dos eventos meteorológicos adversos (dias chuvosos, dias secos, dias de geada, dias quentes, dias frios, números de dias consecutivos de onda de calor e dias secos) com a produção de proteína de um SIPA manejado com dois métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e duas intensidades de pastejo (baixa e moderada) na fase pecuária. Os objetivos foram i) avaliar a influência dos eventos meteorológicos adversos sobre a produção do SIPA, ii) determinar quais são os eventos meteorológicos adversos de maior influência sobre a produção do SIPA, e iii) definir o manejo da fase pecuária que potencializa a produção total do SIPA (grãos e carne) durante eventos meteorológicos adversos, através da análise da base de dados de um experimento de longo prazo. O experimento foi realizado na Estação Experimental Agronômica (EEA), pertencente a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), entre 2003 e 2017. O mesmo consistiu em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) de longo prazo, composto por duas fases, pecuária e lavoura. Na fase pecuária, a pastagem de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) foi pastejada por cordeiros, enquanto na fase lavoura, foi cultivada soja (*Glycine max* L. Merr) em sistema de plantio direto. Dentre os eventos meteorológicos adversos referentes a este experimento, o percentual de dias quentes foi o principal fator na modulação da produção de proteína no SIPA, com 34,6% de influência, seguido por dias consecutivos de onda de calor (19,6%) e dias chuvosos (9,6%). Os métodos de pastoreio e intensidades de pastejo não influenciaram na produção de proteína do sistema, não havendo uma combinação específica capaz de responder melhor em termos de produção de proteína frente aos eventos meteorológicos adversos.

Palavras-chave: Método de pastoreio; intensidade de pastejo; precipitação pluvial; sustentabilidade produtiva, integração lavoura-pecuária.

1. Introdução

No último século, o planeta tem passado por constantes e crescentes alterações meteorológicas, causando aumento da probabilidade de ocorrência de eventos meteorológicos extremos e incomuns (Min *et al.*, 2011; FAO, 2017; Orlowsky e Seneviratne, 2012). Previsões meteorológicas indicam a modificação de variáveis como o aumento da temperatura do ar, ondas de calor, chuvas intensas, aumento na frequência de períodos de seca, ciclones tropicais e marés altas, porém, sua magnitude será diferenciada em função das zonas geográficas do mundo (Xu *et al.*, 2018; IPCC, 2018).

Embora os efeitos do aquecimento do ar não sejam prejudiciais e intensos em todos os lugares do globo, prevê-se que o rendimento das culturas reduza nos trópicos e subtropicais de 10 a 20% até 2050, devido à combinação do aumento da temperatura do ar e seca, podendo ser mais intenso em locais específicos (Jones e Thornton, 2003; IPCC, 2018). Concomitantemente, espera-se aumento na demanda de produção de alimentos nas próximas décadas para suprir a necessidade alimentar de uma população crescente. Segundo as Nações Unidas (ONU, 2019), no ano de 2050, a população mundial chegará a 9,7 bilhões, um crescimento de mais de 2 bilhões de pessoas em 30 anos. Estima-se que o consumo global de alimentos será o dobro do atual, e será necessário o uso de sistemas sustentáveis de produção, baseados na prevenção e mitigação das consequências negativas das mudanças meteorológicas sobre a produção de alimentos (FAO, 2017).

Os sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) têm sido reconhecidos como alternativa viável e promissora de intensificação sustentável na produção de alimentos (FAO, 2010), pois são capazes de aliar a produção com a responsabilidade ambiental, devido às interações entre seus componentes (Moraine *et al.*, 2016). A inserção do componente animal em sistemas agrícolas pode trazer benefícios ao sistema, reduzindo os riscos de produção ocasionados pela instabilidade das variáveis meteorológicas, além de permitir a melhor utilização de recursos e da área, diversificação e aumento da renda dentro da propriedade (Bell e Moore, 2012; Ryschawy *et al.*, 2012, Campbell *et al.*, 2014, Carvalho *et al.*, 2018, Dias, 2018). Os SIPA possibilitam a

mitigação das emissões de gases de efeito estufa, como CO₂ e CH₄, menor uso de insumos, conservação do solo e recursos hídricos, contribuindo para aumento do sequestro e fixação de carbono atmosférico, acima e abaixo do solo (Häyhä e Franzese, 2014), enquanto aumenta a biodiversidade e resiliência do sistema (FAO, 2010).

A produção do sistema não é afetada apenas pelas condições meteorológicas adversas, mas também pela sua interação com a natureza do manejo em vigor. O potencial produtivo do SIPA e a redução do impacto ambiental dos sistemas agropecuários dependem principalmente do manejo na fase pecuária, pois este afeta a produção e a utilização da forragem e, conseqüentemente, o desempenho e produção animal (Neto *et al.*, 2013; de Souza Filho *et al.*, 2019; Barbosa *et al.*, 2007). Em um SIPA, a compreensão dos efeitos dos métodos de pastoreio e das intensidades de pastejo é de grande importância, pois se referem às principais ações de manejo dos animais, com reflexos no desempenho do sistema como um todo (Carvalho *et al.* 2018). Torna-se de extrema importância projetar práticas de manejo que permitam a sustentabilidade socioeconômica do sistema de produção (di Virgilio *et al.*, 2019), assim como a realização de estudos que avaliam a relação entre eventos meteorológicos adversos e a produtividade de SIPA em diferentes configurações.

A hipótese deste estudo é que o uso de diferentes métodos de pastoreio (contínuo ou rotativo) e intensidades de pastejo (moderada ou baixa) modulam a produção de proteína bruta do SIPA em situações meteorológicas adversas à produção de ovinos em pastagem de azevém e lavoura de soja no Sul do Brasil. Portanto, os objetivos deste estudo foram i) avaliar a influência dos eventos meteorológicos adversos (dias chuvosos, dias secos, dias de geada, dias quentes, dias frios, números de dias consecutivos de onda de calor e dias secos) sobre a produção do SIPA, ii) determinar quais são dos eventos meteorológicos adversos de maior influência sobre a produção do SIPA, iii) definir o manejo da fase pecuária, em termos de método de pastoreio e intensidade de pastejo, que potencializa a produção de proteína do SIPA (grãos e carne) em eventos

meteorológicos adversos a produção de ovinos em pastagem de azevém e lavoura de soja no Sul do Brasil,

2. Material e Métodos

2.1 Local e área experimental

O experimento foi conduzido de 2003 a 2017 sob um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA), em área de 4,8 hectares (ha) situada na Estação Experimental Agronômica, pertencente a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As coordenadas geográficas são 30°05'22" sul de latitude e 51°39'08" Oeste de longitude, com altitude aproximada de 46 metros acima do nível do mar. A topografia da área experimental é ligeiramente ondulada e o solo está classificado como um Plintossolo Argilúvico Distrófico típico, segundo o sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Streck *et al.*, 2008).

O protocolo experimental utilizado foi o mesmo desde 2003 até 2017, sendo composto por duas fases. Na fase pecuária, a área experimental foi manejada com azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) pastejado por ovinos no inverno/primavera, enquanto na fase lavoura (verão/outono), cada piquete foi subdividido em duas áreas, sendo utilizado monocultura - soja/soja (*Glycine max* L. Merr) e rotação - soja/milho (*Zea mays* L.)] em sistema de plantio direto. Os dados referentes à rotação soja/milho não foram utilizados neste estudo por não constituírem uma série temporal contínua. Portanto, os dados considerados neste estudo referem-se à soja cultivada anualmente na mesma área da subparcela (monocultura).

2.2 Clima

O clima da região é subtropical úmido com verões quentes, tipo "Cfa", segundo a classificação de Köppen. A temperatura do ar média anual histórica é de 18,9 °C, sendo janeiro o mês com temperatura média diária mais alta (24 °C) e julho, o mês com temperatura média do ar mais baixa (13 °C). Há formação ocasional de geadas no período de maio a setembro, com maior incidência nos meses de junho, julho e agosto. A precipitação média anual histórica situa-se em

torno de 1526 mm, com maior ocorrência entre abril e setembro, sendo a média mensal de 120 mm. Os dados meteorológicos foram coletados diariamente entre os anos de 1970 e 2017 pela estação meteorológica localizada a aproximadamente 800 m da área experimental, no município de Eldorado do Sul, RS.

2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento utilizado foi de blocos completamente casualizados, com quatro repetições, organizado em um esquema fatorial (2 x 2) na fase pecuária, correspondendo a dois métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e duas intensidades de pastejo (moderada e baixa), obtendo-se os seguintes tratamentos: CB (contínuo baixo), CM (contínuo moderado), RB (rotativo baixo) e RM (rotativo moderado). As intensidades de pastejo moderada e baixa corresponderam a 2,5 e 5 vezes o potencial de ingestão de matéria seca (MS) de ovinos, respectivamente. Como o potencial de ingestão de MS dos animais (NRC, 2007), é de 4% do seu peso vivo (PV), a oferta de forragem estipulada foi de 10 e de 20% do PV, respectivamente. Os valores reais de oferta de forragem (média e desvio padrão) dos anos avaliados foram: $21,89 \pm 4,77$; $13,08 \pm 3,59$; $20,64 \pm 4,58$ e $11,06 \pm 3,43$ para os tratamentos CB, CM, RB e RM, respectivamente.

Em todos os anos, logo após o período de pastejo, foi realizada a semeadura da lavoura de verão. Assim, no verão, os poteiros (unidades experimentais) foram conduzidas em sistema de monocultura de soja.

2.4 Fase pecuária

No período que antecedeu o início do experimento, em 2003, foi realizada a aplicação superficial única de $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário em toda a área experimental (CQFS-RS/SC, 1995). Nos dois primeiros anos (2003-2004) o azevém anual foi estabelecido por semeadura mecânica a lanço, com densidade de 25 kg de semente por ha. Nos próximos anos o estabelecimento do azevém

anual deu-se por ressemeadura natural, exceto em 2015 e 2016, quando o mesmo foi novamente semeado em todos os poteiros.

A fertilização da área experimental foi realizada anualmente durante o estabelecimento do azevém, nas doses de 20 kg de N ha⁻¹, 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 60 kg de K₂O ha⁻¹, de acordo com o recomendado pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (CQFS-RS/SC, 2004). Adicionalmente foram aplicados 150 kg de N ha⁻¹ na forma de ureia em dois momentos: no estágio inicial de perfilhamento (75 kg N ha⁻¹) e no estágio de pré-florescimento do azevém anual (75 kg de N ha⁻¹).

2.4.1 Manejo do pasto

O tempo de duração de vida da folha foi usado como critério para determinar os ciclos de pastejo. Para tal, foram utilizadas as informações obtidas por Pontes *et al.* (2003) em experimentos com azevém anual. Os autores obtiveram uma duração da vida da folha (DVF) de 500 °C/dia para o período de junho a agosto e de 410 °C/dia para o período de setembro a novembro. Através destes valores de DVF (°C) foi dividido o valor das temperaturas médias do ar ocorridas nos meses de junho a novembro (período em que os animais permaneceram na pastagem), definindo-se então, entre três e quatro ciclos de pastejo.

Para a determinação das faixas de pastejo nos tratamentos do método rotativo, foi dividido o comprimento dos piquetes pelo número de dias do período e então dividido por dois, que foi o número fixo de dias estabelecido para o período de ocupação em cada faixa de pastejo. No método contínuo, os animais permaneceram constantemente nos poteiros. Os períodos de pastejo utilizados para o método contínuo foram os mesmos utilizados para o método rotativo. Em ambos os métodos de pastoreio, para o manejo da taxa de lotação, foram utilizados três animais *testers* por piquete e número variável de animais reguladores através da técnica *put and take* (Mott & Lucas, 1952). O ajuste de taxa de lotação obedeceu aos períodos de cada período de pastejo, conforme definição de número de dias pelo cálculo de DVF.

2.4.2 Parâmetros avaliados na pastagem

As variáveis referentes a pastagem – altura do pasto (cm), taxa de acúmulo diário de matéria seca (kg MS ha⁻¹), massa de forragem (kg MS ha⁻¹) e oferta de forragem (%) - foram coletadas seguindo o mesmo protocolo experimental ao longo dos anos, tendo sido realizadas ao final de cada período de pastejo. A metodologia detalhada do procedimento de coleta de cada variável está descrita em Savian *et al.* (2014). A produção total de matéria seca (PTMS, kg MS ha⁻¹) foi calculada pela soma da massa de forragem no início do ciclo de pastejo e a taxa de acúmulo de forragem multiplicada pelo número de dias do ciclo de pastejo.

2.4.3 Medições nos animais

Foram utilizados cordeiros machos castrados das raças Ile de France, Texel, Suffolk e seus cruzamentos, com $34,0 \pm 9,6$ kg de peso vivo inicial e $11 \pm 0,5$ meses de idade nos diferentes anos, com exceção do ano 2012, quando foram utilizadas ovelhas em lactação. Por esta razão, os dados deste ano não foram considerados na análise. Durante a fase pecuária, os animais tiveram acesso a água e sal mineral *ad libitum* e controle sanitário periódico. Os animais foram pesados no início e final de cada período de pastejo, após jejum de sólidos e líquidos durante aproximadamente 12 horas.

O ganho médio diário (GMD, kg animal⁻¹ dia⁻¹) foi medido por meio da diferença entre os pesos final e inicial dos animais *testers*, dividido pelo número de dias de cada ciclo de pastejo. O ganho de peso vivo por hectare (GHA, kg PV ha⁻¹) foi obtido multiplicando-se o número médio de animais por hectare, pelo GMD e pelo número de dias de cada ciclo de pastejo. O número de animais por hectare foi obtido pela divisão da taxa de lotação (TL, kg PV ha⁻¹) pelo peso vivo médio dos animais *testers*, por ciclo de pastejo. A TL foi obtida pelo somatório dos pesos dos animais *testers* e dos animais reguladores multiplicado pelo número de dias que estes permaneceram no piquete, dividido pela área do

piquete, por ciclo de pastejo. Para análise por fase do banco de dados, foi gerada uma média ponderada com os dados de cada ciclo de pastejo.

2.5 Fase lavoura

Anualmente, após o término da fase pecuária, procedeu-se a dessecação do azevém, com dose de 2 L por ha de glifosato. Aproximadamente 30 dias após a dessecação, foi realizada a semeadura da lavoura de soja com sementes tratadas com fungicida e inseticida, e inoculadas com estirpes específicas de *Bradyrhizobium japonicum*, em meio líquido. Utilizou-se cultivares com ciclo médio de 150 dias e hábito de crescimento indeterminado. O espaçamento entre linhas adotado foi de 0,45 m, tendo-se utilizado semeadora para plantio direto. Todos os tratos culturais foram realizados com base na recomendação para a cultura da soja (RPSRS, 2012; FEPAGRO, 2011).

Para a avaliação do rendimento de grãos de soja, foram coletados 10 m lineares em cada piquete, o que correspondeu ao corte de cinco locais aleatórios de 2 m lineares. Posteriormente as amostras foram secas e o rendimento de grãos foi ajustado para 13% de umidade.

2.6 Variáveis meteorológicas e eventos meteorológicos adversos

As variáveis meteorológicas - temperaturas do ar (°C) (média, máxima e mínima), precipitação pluvial (mm), radiação solar global ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e evapotranspiração de referência (mm) – foram coletadas diariamente entre os anos de 2003 e 2017 pela estação meteorológica localizada a aproximadamente 800 m da área experimental. Essas variáveis foram utilizadas como base para o cálculo dos eventos meteorológicos adversos, segundo metodologia adaptada de Frich *et al.* (2002) (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição dos índices de eventos meteorológicos adversos a um SIPA composto por produção de ovinos em pastagem de azevém durante o inverno, sucedido por lavoura de soja no verão na região Sul do Brasil.

Índice	Definição	Unidade
Índices relacionados a precipitação pluvial (mm)		
DC	Porcentagem de dias com precipitação pluvial acima da média mensal histórica* + 2 DP	%
CDS	Número máximo de dias consecutivos com precipitação pluvial < 1 mm	Dias
Índices relacionados a temperatura do ar (°C)		
DG	Porcentagem de dias com temp. mínima < 0 °C	%
DQ	Porcentagem de dias com temp. máxima acima da média mensal histórica + 2 DP	%
DF	Porcentagem de dias com temp. mínima abaixo da média mensal histórica - 2 DP	%
COC	Período máximo > 5 dias consecutivos com temp. máxima > 5°C da média mensal histórica	Dias

*Média histórica = banco de dados de 1970 a 2017, referente a estação meteorológica da EEA. DC = dias chuvosos; CDS = dias consecutivos de seca; DG = dias de geada; DQ = dias quentes; DF = dias frios; COC = dias consecutivos de onda de calor. Adaptado de Frich *et al.* (2002).

Para compilação dos eventos meteorológicos adversos, o *SISTEMA* correspondeu a um ano agrícola, compreendendo as fases pecuária e lavoura. Na fase pecuária, os dados foram obtidos a partir do primeiro dia após a colheita da lavoura até a data de saída dos animais da área experimental. Na fase lavoura, os dados foram obtidos a partir do plantio até a colheita da lavoura de soja. Quando houve semeadura do azevém (anos 2003, 2004, 2015 e 2016), a data exata da semeadura foi considerada a data de início do período.

O comportamento dos eventos meteorológicos adversos avaliados no experimento em questão ao longo dos anos (2003 a 2017) são apresentados na figura 1. Os eventos meteorológicos adversos – dias chuvosos (DC, %), dias de geada (DG, %), dias quentes (DQ, %) e dias frios (DF, %) foram calculados somando os índices diários de cada período avaliado (fase pecuária, fase lavoura e SISTEMA), enquanto os números de dias consecutivos de onda de calor e dias secos (COC e CDS – dias, respectivamente) foram obtidos pelo número máximo de dias consecutivos de cada evento por fase/SISTEMA.

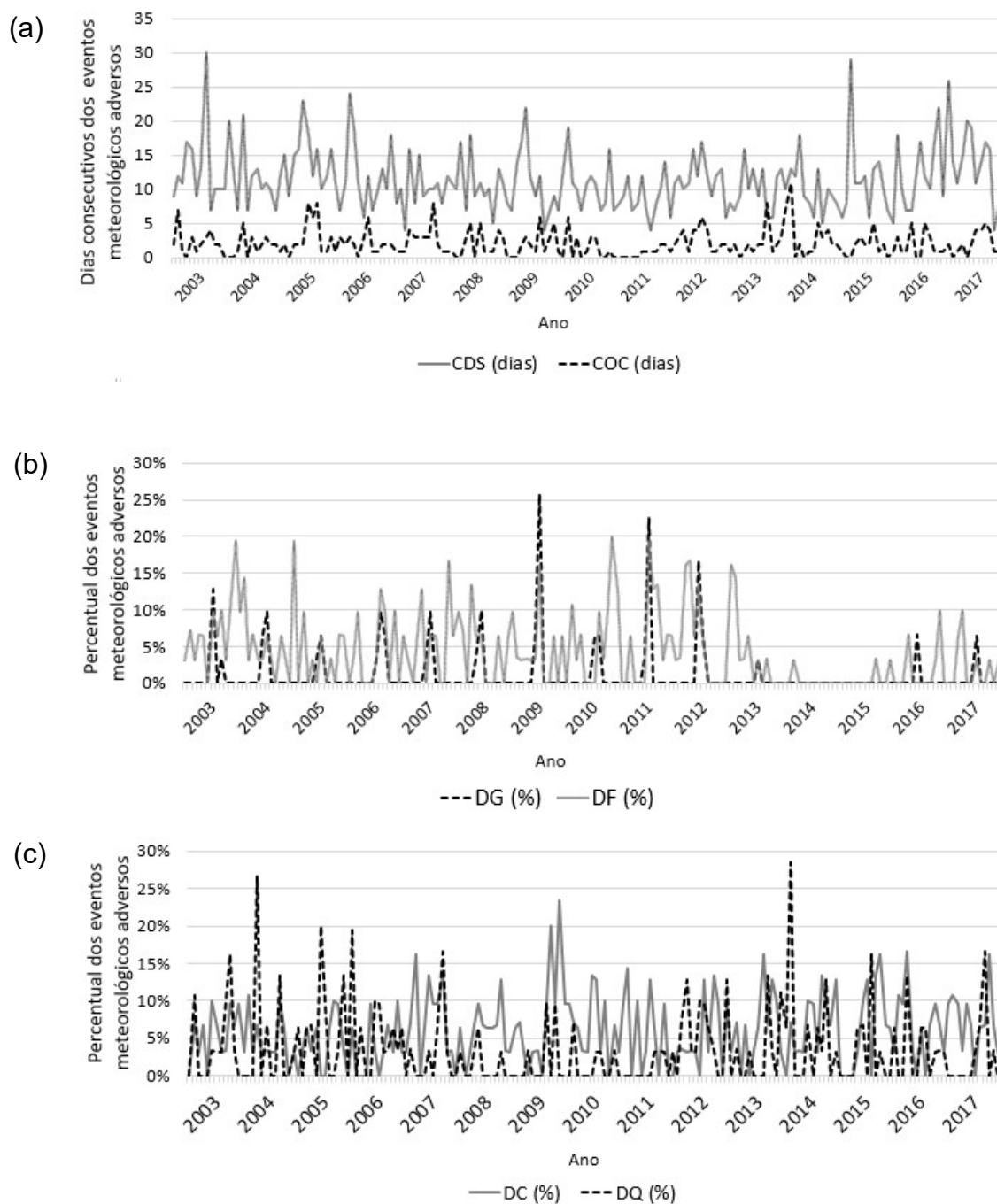


Figura 1 – Comportamento dos eventos meteorológicos adversos em um SIPA composto por produção de ovinos em pastagem de azevém durante o inverno, sucedido por lavoura de soja no verão na região Sul do Brasil, de 2003 a 2017. (a) refere-se as variáveis CDS = dias consecutivos de seca e COC = dias consecutivos de onda de calor; (b) refere-se as variáveis DG = dias de geada e DF = dias frios; (c) refere-se a DC = dias chuvosos e DQ = dias quentes;

2.7 Produção de proteína bruta, por fase/SISTEMA

A produção total do SISTEMA foi calculada pela soma da produção animal na fase pecuária (GHA, kg PV ha⁻¹) e da produtividade de soja na fase lavoura (PS, kg de grãos ha⁻¹) convertida em proteína bruta (PB, kg PB ha⁻¹). A produção de proteína da fase pecuária (kg PB ha⁻¹) foi obtida multiplicando-se o GHA pelo rendimento médio de carcaça (43,37% - Carvalho *et al.*, 2006 e Jacques *et al.*, 2011) e pelo teor de PB da carcaça dos ovinos (PB da carcaça = 15,30% - Silva *et al.*, 2005). A produção de proteína da fase lavoura (kg PB ha⁻¹) foi obtida multiplicando-se a produtividade da soja (PS, kg grão ha⁻¹) pelo teor de PB médio da soja (35,08% - USDA, 2019; NRC, 2001 e Anuonye *et al.*, 2010).

2.8 Análise dos dados

Para verificação de relações entre as variáveis de estudo, foi realizada análise de correlação de *Pearson* em nível de 5% de significância. Foram utilizados os pacotes *corrplot* e *Hmisc* do software estatístico R (versão 4.0.2). Para definição dos eventos meteorológicos adversos com influência sobre a produção do SISTEMA ($P < 0,05$), foi realizada análise de regressão múltipla, por meio da função *lm*. Utilizou-se o método 'forward' e o critério AIC (Akaike, 1974) para definição do melhor modelo ajustado aos dados. A colinearidade foi testada por meio da função *ols_coll_diag* do pacote *olsrr*. Após a definição dos eventos meteorológicos adversos com influência significativa ($P < 0,05$) sobre a produção do SISTEMA, foi realizada análise de agrupamento (*Cluster*) para definição de grupos de anos com características meteorológicas similares. Utilizou-se o método de agrupamento "average" do pacote *NbClust*. Por fim, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em nível de significância de 5%. As pressuposições da ANOVA foram testadas e, quando necessário, os dados foram submetidos à transformação. No modelo estatístico foram incluídos os efeitos fixos de método, intensidade, cluster (grupo de anos) e suas interações. Bloco foi considerado efeito aleatório no modelo. Quando

detectadas diferenças entre as médias, essas foram comparadas pelo teste Tukey ($P < 0,05$). Foram utilizados os pacotes *lme4*, *emmeans* e *multcompView*.

3. Resultados

Na tabela 2 estão apresentadas as variáveis estudadas neste trabalho, por fase (pecuária, lavoura e SISTEMA) e de acordo com os métodos de pastoreio e intensidades de pastejo.

Tabela 2 - Médias e desvio padrão das variáveis na fase pecuária, fase lavoura e do SISTEMA (ano agrícola) em SIPA manejado sob diferentes métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e intensidades de pastejo (baixa e moderada) (2003 a 2017).

Variável	Contínuo		Rotativo	
	Baixa	Moderada	Baixa	Moderada
Fase pecuária				
PTMS	10.487 ± 2.753	7.170 ± 2.325	9.060 ± 2.708	7.380 ± 2.903
TL	859,2 ± 192,1	1108,6 ± 332,5	879,7 ± 215,5	1323,5 ± 416,5
GMD	0,124 ± 0,043	0,116 ± 0,047	0,123 ± 0,031	0,108 ± 0,035
GHA	328,9 ± 147,5	378,6 ± 224,2	319,3 ± 132,9	423,1 ± 250,3
PB Pec	22,8 ± 9,2	29,4 ± 13,5	21,2 ± 8,8	31,1 ± 15,7
Fase lavoura				
PS	1.678,6 ± 842,8	1.550,5 ± 1027,9	1.758,7 ± 1170,5	1.696,7 ± 1007,6
PB Lav	631,8 ± 308,4	632,3 ± 382,5	656,9 ± 438,4	658,1 ± 395,5
Sistema				
PB Sist	654,9 ± 306,2	663,0 ± 376,1	678,4 ± 435,0	690,9 ± 382,8

PTMS = produção total de forragem (kg MS ha⁻¹), TL = taxa de lotação (kg PV ha⁻¹), GMD = ganho médio diário (kg PV animal⁻¹), GHA = ganho de peso vivo por hectare (kg PV ha⁻¹), PB Pec = produção de proteína bruta na fase pecuária (kg PB ha⁻¹), PS = produção de grãos de soja (kg MS ha⁻¹), PB Lav = produção de proteína bruta na fase lavoura (kg PB ha⁻¹), PB Sist = produção de proteína bruta do SISTEMA (kg PB ha⁻¹)

As variáveis meteorológicas adversas foram elencadas por ordem de influência sobre a produtividade do SISTEMA (Tabela 3).

Tabela 3 - Variáveis meteorológicas adversas com influência na produção de proteína do SISTEMA (kg PB ha⁻¹), selecionados pelo modelo de regressão múltipla.

Modelo	b	EPM	R ²	P =
SISTEMA				
Intercepto	1452,7	120,85		<0,0001
DQ (%)	-162,65	2457,2	0,3457	<0,0001
COC (dia)	-75,5	1522,54	0,1965	<0,0001
DC (%)	46,42	16	0,0964	<0,0001

DQ = dias quentes; COC = dias consecutivos de onda de calor; DC = dias chuvosos. b = coeficiente respectivo a cada fator no modelo; EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação ajustado.

Observa-se que o percentual de dias quentes é o principal fator na modulação da produção de proteína no SIPA, seguido por dias consecutivos de onda de calor e dias chuvosos, totalizando 64% de influência. De acordo com a equação de regressão, a produção de proteína do SISTEMA é de 1452 kg por ha quando não ocorrem eventos meteorológicos adversos. A cada 1% de aumento no percentual de dias quentes há redução na produção de proteína do SISTEMA em 163 kg por ha. A cada aumento de 1 dia consecutivo de onda de calor, a produção de proteína do SISTEMA reduz em 75 kg por ha e a cada 1% de aumento na dias chuvosos, a produção de proteína do SISTEMA aumenta em 46 kg por ha.

A análise de agrupamento (*Cluster*) definiu duas classes de anos, sendo o *cluster* I formado por anos com mais eventos meteorológicos adversos, ou seja, mais quentes (DQ e COC) e com mais dias chuvosos (DC) e o *cluster* II com menos eventos meteorológicos adversos, menor frequência de dias quentes, dias consecutivos de onda de calor e dias chuvosos (Tabela 4).

Tabela 4 - Grupos (*Cluster*) de anos de acordo com os eventos meteorológicos adversos com influência sobre a produtividade do SISTEMA (média ± erro padrão da média).

Variáveis	Cluster I	Cluster II	P-valor
DQ (%)	4 ± 0,06	2 ± 0,1	<0,001
COC (dia)	6 ± 0,15	3 ± 0,18	<0,001
CI (%)	6 ± 0,2	4,5 ± 0,1	<0,001

DQ = dias quentes; COC = dias consecutivos de onda de calor; CI = dias chuvosos. *Cluster I* = 2004, 2011 e 2016; *Cluster II* = 2003, 2005, 2006 e 2015.

A produção de proteína do SISTEMA (kg ha⁻¹), por *cluster*, em função dos métodos de pastoreio e intensidades de pastejo, é apresentada na Figura 2. Observa-se que tanto o método de pastoreio quanto a intensidade de pastejo e suas interações não foram significativas na produção de proteína do SISTEMA ($P > 0,05$). Entretanto, os *clusters* apresentaram efeito significativo ($P < 0,01$), sendo que o *cluster II*, classificado como mais ameno (menos eventos meteorológicos adversos), proporcionou maior produção, de 1036 ± 101; 909 ± 96; 821 ± 96; 756 ± 96 kg de PB por ha, nos tratamentos RB, RM, CB e CM, respectivamente. Em contrapartida, menor produção foi observada no *cluster I*, sendo 455 ± 79; 506 ± 82; 541 ± 79; 475 ± 82 kg de PB por ha nos tratamentos RB, RM, CB e CM, respectivamente.

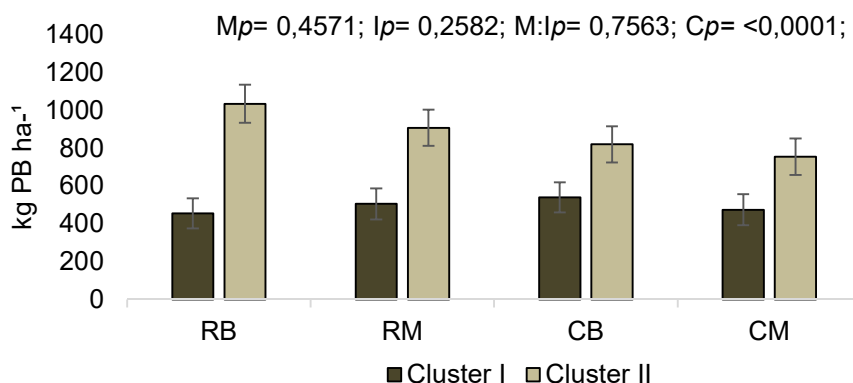


Figura 2. Produção do SISTEMA (kg PB ha⁻¹), por *cluster*, em função dos métodos de pastoreio e intensidades de pastejo. Os níveis de significância (p) estão apresentados na figura (C ; M e I significam, respectivamente, *cluster*, *método* e *intensidade*; ‘:’ refere-se à interação entre os fatores).

A análise de correlação (Figura 3) entre as principais variáveis meteorológicas adversas (DQ, COC e DC) e a produção de proteína em cada fase (pecuária e lavoura) mostra que, tanto o percentual de dias quentes quanto os dias consecutivos de onda de calor afetaram positivamente ($p < 0,05$) a produção de proteína da fase pecuária (Figura 3a).

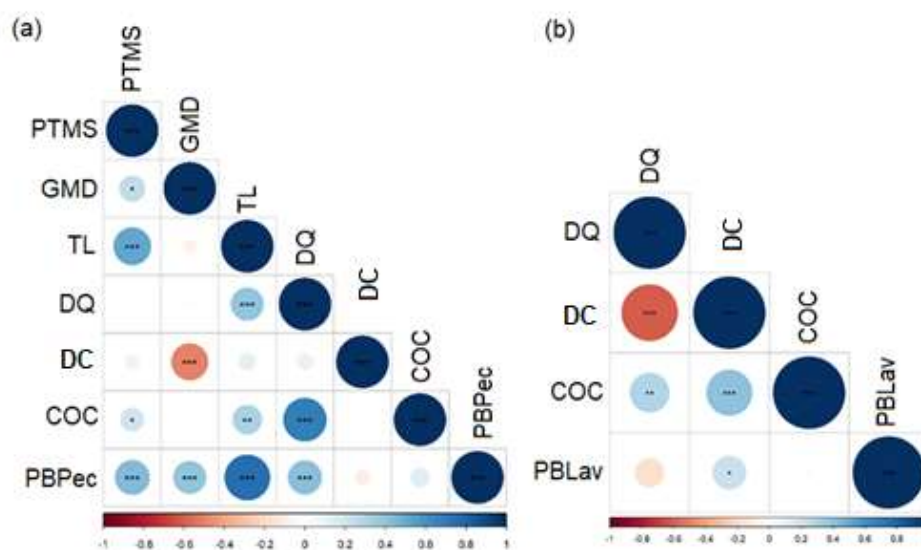


Figura 3. Correlações entre a produção de proteína na fase pecuária (a) e na fase lavoura (b) e os eventos meteorológicos adversos. Círculos vermelhos representam correlação negativa e círculos azuis representam correlação positiva. Intensidade da cor representa o “grau” de correlação, ou seja, quanto mais claro menor o coeficiente de correlação, “*” ($P < 0,05$), “**” ($P < 0,01$), “***” ($P < 0,001$). DQ = dias quentes; DC = dias chuvosos; COC = dias consecutivos de onda de calor; PBLav = produção de proteína na fase lavoura; PBPec = produção de proteína na fase pecuária.

Os dias consecutivos de onda de calor exerceram efeito positivo ($p < 0,05$) sobre a PTMS, que apresenta relação direta com a TL e GMD, mas os dias chuvosos se correlacionam negativamente com o GMD ($p < 0,001$). Observa-se que o percentual de dias quentes afeta positivamente ($p < 0,001$) a produção de proteína na fase pecuária (Figura 3a), enquanto que na fase lavoura (Figura 3b), a produção de proteína é afetada positivamente ($p < 0,05$) pelos dias chuvosos (Figura 3b).

4. Discussão

Os resultados deste estudo evidenciam que os eventos meteorológicos adversos se mostram importantes fatores na resposta produtiva do SIPA no Sul do Brasil. Já o manejo da fase pecuária, quando conduzido de forma a não limitar o consumo animal (moderada ou baixa intensidade de pastejo), não apresenta

impacto na produção total do SISTEMA. O percentual de dias quentes foi o principal evento meteorológico adverso com influência sobre a produção do SISTEMA, seguido de dias consecutivos de onda de calor e dias chuvosos (Tabela 3). A produção de proteína do SISTEMA nada mais é que a soma da produção de proteína em cada fase (pecuária e lavoura), portanto, está relacionada aos efeitos negativos ou positivos que nelas ocorrem.

A partir da análise de correlação entre os principais eventos meteorológicos adversos e a produção de proteína em cada fase (pecuária e lavoura), observa-se que o percentual de dias quentes afetou positivamente a produção de proteína na fase pecuária (Figura 3a). Dias consecutivos de onda de calor e percentual de dias quentes são fortemente correlacionados, pois são eventos baseados no aumento da temperatura média do ar e sua duração. Os dias consecutivos de onda de calor exerceram efeito positivo direto na produção total de forragem, que conseqüentemente, exerce efeito direto sobre a taxa de lotação e ganho médio diário, que são componentes do ganho de peso vivo por hectare.

A temperatura do ar é uma das principais variáveis ambientais que influenciam o desenvolvimento e o crescimento vegetal (Brunini *et al.*, 1976; Lemaire & Chapman, 1996; Newman *et al.*, 2001), pois provoca efeito imediato sobre os processos bioquímicos (respiração e fotossíntese), físicos (transpiração) ou morfogênicos das plantas (Taiz & Zeiger, 2004; Lemaire e Agnusdei, 2000). Incrementos de temperatura, situados na faixa ideal, podem atuar de maneira positiva sobre as taxas de crescimento e desenvolvimento de pastagens hibernais, quando não ocorre nenhum outro tipo de limitação, indicando que durante a estação fria (fase pecuária), o aumento da frequência de dias com temperaturas acima da média mensal histórica foi benéfico ao desenvolvimento do azevém. A estrutura do pasto e o adequado valor nutritivo da pastagem são essenciais para se alcançar elevado desempenho animal (Hodgson, 1990), sendo esses os fatores mais importantes na determinação do ganho de peso do que fatores climáticos.

O estresse animal por calor também poderia ter sido um fator negativo sobre o desempenho animal, pois pode causar alterações fisiológicas, o que

inclui diminuição na ingestão de alimentos, distúrbios no metabolismo da água, proteína, energia e minerais, secreções hormonais e metabólitos sanguíneos (Haheeb *et al.*, 1992; Marai *et al.*, 2006). No entanto, a fase pecuária ocorreu durante a estação fria e mesmo em situações meteorológicas adversas avaliadas neste estudo, o aumento no percentual de dias quentes e dias consecutivos de onda de calor não foram suficientes para causar prejuízos ao desempenho dos ovinos.

Os dias chuvosos durante a fase pecuária, por outro lado, influenciaram negativamente o GMD (Figura 3a), sem afetar significativamente a produção de proteína da fase pecuária. As características do solo e precipitação regular e abundante (ver Arnuti, 2018; Barth Neto *et al.*, 2013) durante a fase pecuária no período estudado, caracterizam um ambiente não limitante para a produção. No Rio Grande do Sul, as chuvas de inverno são influenciadas por sistemas frontais (Britto *et al.*, 2008) e pela aproximação de um anticiclone, que ocasionam chuvas prolongadas e maior número de dias de chuva (Moreno, 1961), que leva ao suprimento de água necessário para a produção de matéria seca da pastagem, garantindo oferta de alimento adequada aos animais.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para a produção agrícola. Os resultados deste estudo mostram que eventos meteorológicos adversos relacionados ao aumento da precipitação pluviométrica são positivamente correlacionados com a produção de proteína da fase lavoura (Figura 3b). Por outro lado, os dias com temperaturas acima da média mensal histórica não afetaram a produtividade da soja (Figura 3a), uma vez que a mesma é uma cultura de verão, e em grande parte dependente da precipitação. Dentre outras culturas, a soja sofre forte influência da intensidade e frequência das chuvas no período de desenvolvimento da planta, que ocorre entre novembro e março (Matzenauer *et al.*, 2002). Nessa fase, o déficit hídrico potencialmente causa oscilações de produtividade. Um exemplo é a perda de produção de soja estimada em 35% entre os anos de 1978 a 2015 em razão de estiagens no Rio Grande do Sul (EMATER/RS, 2016). As chuvas constituem a principal fonte hídrica dos sistemas agrícolas não irrigados, afetando o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, a capacidade de

absorção de água pelas raízes e o estado hídrico das plantas (Sentelhas & Monteiro, 2009), refletindo no seu desempenho, uma vez que as chuvas nos meses de verão afetam a produtividade das principais lavouras de grãos da primavera-verão do Rio Grande do Sul (Matzenauer *et al.*, 2017). Estudos têm mostrado que o aquecimento global interfere no regime de chuvas em diferentes regiões do globo. No sul do Brasil, especificamente no estado do Rio Grande do Sul, tem sido observado tendência de aumento das chuvas anuais (Junges *et al.*, 2019; Cera & Ferraz, 2015), que pode ser benéfico para a produção da lavoura de soja.

Dentre a produção total do SISTEMA, a contribuição da fase lavoura foi de 97,4% no grupo de anos com maior intensidade de eventos meteorológicos adversos (*cluster I*) e de 94,2% no grupo de anos com menor intensidade de eventos meteorológicos adversos (*cluster II*), mostrando que a lavoura é responsável pela maior parte da produção de proteína bruta do SISTEMA. Por esse motivo, o percentual de dias quentes e dias consecutivos de onda de calor podem ter afetado significativamente a produção do SISTEMA, pois são eventos extremos que tem maior intensidade durante a estação quente (fase lavoura). Apesar de não ter sido observado efeito significativo de eventos meteorológicos adversos relacionados a temperatura média do ar sobre a produção da fase lavoura, foi observado que quando houve maior intensidade dos eventos ao longo do ano agrícola, a produção de proteína do SIPA foi menor (Figura 2), podendo indicar que a associação e intensidade dos eventos pode ter um efeito acumulado sobre a produção total do SIPA.

A contribuição da fase pecuária na produção total do SISTEMA foi de aproximadamente 2,6% e 5,8% no cluster I e II, respectivamente, não havendo efeito do manejo adotado sobre a produção do SISTEMA em anos com eventos meteorológicos adversos. Esse resultado está relacionado ao fato de que as intensidades de pastejo estudadas, baixa e moderada, proporcionaram estrutura de pasto e qualidade de forragem não limitantes ao consumo dos ovinos (Gibb & Treacher, 1976, Savian *et al.*, 2014), proporcionando desempenhos satisfatórios (Tabela 3). Com relação ao método de pastoreio, Briske *et al.* (2008) analisaram estudos comparando pastejo rotativo e contínuo e constataram que

50% dos casos avaliados não apresentaram diferenças na produção animal. E que nos 42% em que o método rotativo foi superior, os autores atribuíram a resposta a heterogeneidade das pastagens analisadas.

Este estudo traçou um paralelo entre as variáveis meteorológicas adversas analisadas neste estudo com a produção de alimentos em uma configuração cada vez mais necessária e sustentável, o SIPA. Portanto, para conhecimento dos efeitos dos eventos meteorológicos adversos sobre a produtividade de outras configurações de sistemas de produção de alimentos, é necessário a realização de mais estudos. Além disso, cada espécie forrageira ou cultura tem suas características específicas em termos de exigência de nutrientes, água, especificidades anatômicas e fisiológicas, assim como, cada espécie animal tem suas particularidades e responde ao meio ao qual foi submetido de formas diferentes (Porter *et al.*, 2014).

5. Conclusão

Os eventos meteorológicos adversos (dias chuvosos, dias secos, dias de geada, dias quentes, dias frios, números de dias consecutivos de onda de calor e dias secos) são importantes fatores na resposta produtiva de um SIPA (soja/ovinos) no sul do Brasil. O percentual de dias quentes e dias consecutivos de onda de calor são eventos capazes de prejudicar o desempenho produtivo do SISTEMA, porém de forma isolada os mesmos têm efeito positivo para a fase pecuária e neutro para a fase lavoura. Os dias chuvosos, por sua vez, são responsáveis por aumentar a produção de proteína do SISTEMA. Finalmente, a utilização de diferentes métodos de pastoreio (contínuo e rotativo) e intensidades de pastejo (moderada e baixa) durante a fase pecuária em um SIPA não alteram a resposta da produção de proteína do SISTEMA (grãos e carne) durante eventos meteorológicos adversos no Sul do Brasil.

Referências

- Arnuti, F. 2018. Ciclagem e balanço de nutrientes em sistema integrado de produção agrícola e pecuária com ovinos. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Akaike, H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control.*, Boston, v.19, n.6, p.716-723, 1974.
- Barbosa, C.M.P., Carvalho, P.C.D.F., Cauduro, G.F., Lunardi, R., Kunrath, T.R., Gianluppi, G.D.F., 2007. Terminação de cordeiros em pastagens de azevém anual manejadas em diferentes intensidades e métodos de pastejo. *Rev. Bras. Zootec.* 36, 1953–1960. DOI:10.1590/S1516-35982007000900002
- Bell, L. W.; Moore, A. D., 2012. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: Trends, drivers and implications. *Agricultural Systems, Essex*, v. 111, p. 1-12.
- Britto, F. P.; Barletta, R.; Mendonça, M., 2008. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.3, p.1-12.
- Brunini, O. *et al.*, 1976. Temperatura-base para alface cultivar 'White Boston', em um sistema de unidades térmicas. *Bragantia*, Campinas, v.35, n.19, p.213-219.
- Cera, J. C.; Feraz, S. E. T. 2015. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, p.81-88, [DOI:10.1590/0102-778620130588](https://doi.org/10.1590/0102-778620130588)
- de Souza Filho, W., Nunes, P.A. de A., Barro, R.S., Kunrath, T.R., de Almeida, G.M., Genro, T.C.M., Bayer, C., de Faccio Carvalho, P.C., 2019. 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. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.245
- di Virgilio, A., Lambertucci, S.A., Morales, J.M., 2019. Sustainable grazing management in rangelands: Over a century searching for a silver bullet. *Agric. Ecosyst. Environ.* 283, 106561. DOI:10.1016/j.agee.2019.05.020

- EMATER/RS. Série histórica das culturas de grãos no Rio Grande do Sul. 2016. Disponível em: <
<http://www.emater.tche.br/site/servicos/informacoesagropecuarias>. >. Acesso em: 20 ago. 2020
- FAO, 2017. The future of food and agriculture - Trends and challenges. Rome.
- FAO, 2010. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The Way Forward for Sustainable Production 13.
- Hayha, T. & Franzese, P.P., 2014. Ecosystem services assessment: a review under an ecological-economic and systems perspective. *Ecological Modelling*, 289, 124–132.
- Hodgson, J., 1990. *Grazing management: science into practice*. Longman Scientific and Technical. New York, pp. 203.
- Hsiang, S.M., Meng, K.C., 2015. Tropical economics. *Am. Econ. Rev.* 105, 257–261. DOI:10.1257/aer.p20151030
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- Junges, A. H., Bremm, C., Fontana, D.C.; 2019. Rainfall climatology, variability, and trends in Veranópolis, Rio Grande do Sul, Brazil. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.23, n.3, p.160-166. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929>
- Ma, Z., Liu, H., Mi, Z., Zhang, Z., Wang, Y., Xu, W., Jiang, L., He, J.S., 2017. Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production. *Nat. Commun.* 8, 1–7. DOI:10.1038/ncomms15378
- Marai, I.F.M., El-Darawany, A.A., Abou-Fandoud, E.I., Abdel-Hafez, M.A.M., 2006. Serum blood components during pre-oestrus, oestrus and pregnancy phases in Egyptian Suffolk as affected by heat stress, under the conditions of Egypt. *Egypt. J. Sheep Goats Desert Anim. Sci.* 1 (1), 47–62.
- Matzenauer, R. *et al.* 2002. Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Fepagro, 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).

- Min S-K, Zhang X, Zwiers F.W, Hegerl G.C., 2011. Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature* 470:378–381. DOI: 10.1038/nature09763
- Moraine, M., Duru, M., Therond, O., 2016. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop – livestock systems from farm to territory levels 32. DOI:10.1017/S1742170515000526
- Moreno, J.A., 1961. Clima do Rio Grande do Sul. *Bol. Geográfico do Rio Gd. do Sul* 0, 49–83.
- Mott, G.O., Lucas, H.L., 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: Wagner, R.E. (Ed.), *Proceedings of the 6th International Grassland Congress*. State College Press. Pennsylvania. pp. 1380–1385.
- Nellemann, C., MacDevette, M., Manders, T., Eickhout, B., Svihus, B., Prins, A.G., Kaltenborn, B.P., 2009. The environmental food crisis – The environment’s role in averting future food crises. A UNEP rapid response assessment. GRID-Arendal, Arendal, Norway, United Nations.
- Neto, A.B., Carvalho, P.C. de F., Lemaire, G., Sbrissia, A.F., do Canto, M.W., Savian, J.V., do Amaral, G.A., Bremm, C., 2013. Perfilhamento em pastagens de azevém em sucessão a soja ou milho, sob diferentes métodos e intensidades de pastejo. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 48, 329–338. DOI:10.1590/S0100-204X2013000300012
- NRC, 2007., *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. CSIRO Publishing. DOI:10.1071/9780643095106
- Newman, Y.C.; Sollenberger, L. E.; Boote, K. J. Jr. *et al.* Carbon dioxide and temperature effects on forage dry matter production. *Crop Science*, v.41, p.399- 406, 2001.
- Orlowsky B, Seneviratne S.I., 2012. Global Changes in extreme events: regional and seasonal dimension. *Climate Change*. 110:669–696. DOI:10.1007/s10584-011-0122-9
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Travasso. M.I. 2014. Food security and food production systems. In IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and*

- vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 485–533. Cambridge, UK and New York, USA, Cambridge University Press.
- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J.P., Joannon, A., Gibon, A., 2012. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming. 1722–1730. DOI:10.1017/S1751731112000675
- Savian, J.V., Neto, A.B., de David, D.B., Bremm, C., Schons, R.M.T., Genro, T.C.M., do Amaral, G.A., Gere, J., McManus, C.M., Bayer, C., de Faccio Carvalho, P.C., 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 112–119. DOI:10.1016/j.agee.2014.02.008
- Sentelhas, P. C.; Monteiro, J. E. B. A. 2009. Agrometeorologia dos cultivos. In: Monteiro, J. E. B. A. (org.). *Agrometeorologia dos cultivos*. Brasília: INMET, Cap.1, p.3-12.
- Taiz, L.; Zeiger, E., 2004. *Fisiologia Vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed. 719p.
- Van Soest, P.J., 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. London: Comstock Publishing Associates 476p.
- Wilson, J. R., 1982. Environmental and nutritional factors affecting herbage quality. In: HACKER, J. B. (Ed.). *Nutritional limits to animal production from pastures*. Farnham Royal: CABp. 111-113.

CAPÍTULO III

**Well-managed pastures provide greater food production stability in
integrated crop-livestock systems**

Elaborado segundo normas da Agricultural Systems

Well-managed pastures provide greater food production stability in integrated crop-livestock systems

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of stocking method and grazing intensity on the stability of animal and herbage production in the livestock phase, and grain production in the crop phase, as well as the stability of the whole system (energy production from meat and grains) of a long-term integrated crop-livestock system (ICLS). The ICLS consisted of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) pasture grazed by sheep during winter/spring (livestock phase), succeeded by soybean crop (*Glycine max.* L. Merr.) during summer/autumn (crop phase). The experiment was designed as a randomized complete block in a 2 x 2 balanced factorial arrangement given by two stocking methods (continuous and rotational), and two grazing intensities (low and moderate). Grazing treatments consisted of a combination of grazing intensities and stocking methods: LC (low continuous), MC (moderate continuous), LR (low rotational) and MR (moderate rotational). The stocking method did not affect the temporal stability of the studied variables, but the low grazing intensity was more stable in time for the herbage and animal production in the livestock phase. For crop and system stability, no influence of grazing methods and grazing intensities were observed. The use of low grazing intensity under rotational or continuous stocking provided greater productive stability of the ICLS in the livestock phase over time.

Keywords: Stocking method; grazing intensity; productive sustainability, soybean crop

1. Introduction

World agriculture has been oriented towards specialization in recent decades. The constant pursuit of high yields in monospecific cropping systems with heavy reliance on external inputs (Altieri *et al.*, 2015; Ramankutty *et al.*, 2018) have, however, increased agriculture susceptibility to economic and weather oscillations (Hsiang and Meng, 2015; Longobardi *et al.*, 2016; Ma *et al.*, 2017). In addition, human-driven climate change will increase the likelihood of extreme weather events, such as heavy rainfall and droughts, and average atmosphere temperatures will keep rising, further increasing agricultural vulnerability (Min *et al.*, 2011; FAO, 2017; IPCC, 2018). Meanwhile, human population growth, urbanization and higher per capita income are projected to increase food demand by at least 50% until 2050 (FAO, 2017), requiring the production of agricultural goods to be increased through sustainable production systems (Nellemann *et al.*, 2009; Foley *et al.*, 2011; FAO, 2017).

Agriculture oriented to sustainable intensification relies on ecological principles, such as biodiversity, connectivity and heterogeneity, to foster agroecosystem yields, efficiency and resilience and reduce undesirable socioeconomic and environmental impacts promoted or not by climate change (Bonaudo *et al.*, 2014; Altieri *et al.*, 2015). In this way, integrated crop-livestock systems (ICLS) are alternatives to meet these goals (Lemaire *et al.*, 2014; Bonaudo *et al.*, 2014; Franzluebbbers *et al.*, 2014; Garrett *et al.*, 2017). Integrated systems are planned to explore crop and animal production and their interactions at different spatiotemporal scales. As a result of soil – plant – animal – atmosphere interactions and synergisms, new system properties are likely to emerge from a higher degree of complexity (Moraes *et al.*, 2014). Yet, ICLS can reduce system

dependence on external inputs, increasing its resilience and self-sufficiency (Stark *et al.*, 2016; Stark *et al.*, 2018; Paramesh *et al.*, 2020). Improvements in soil physical, chemical and biological properties resulting from increased functional diversity and nutrient recycling, and regulation of pests and diseases are some of the factors underlying ICLS sustainability (Morecroft *et al.*, 2012; Altieri *et al.*, 2015; Rapidel *et al.*, 2015; Garrett *et al.*, 2017; Migliorini and Wezel, 2017).

Grazing management in the livestock phase of the ICLS in the Brazilian subtropics has been considered pivotal for the profitability of that model of agriculture (Moraes *et al.*, 2014; Kunrath *et al.*, 2020). Among grazing management tools, the grazing intensity is the key factor driving several ecological and productive processes (Garrett *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2018), such as live weight gains (Barbosa *et al.*, 2007) and enteric methane emissions of ruminants (de Souza Filho *et al.*, 2019). However, the stocking season is generally long-term (approximately 180 days from sowing the annual winter pasture species to the end of the stocking period, when animals leave the area; Kunrath *et al.*, 2020), making it susceptible to weather fluctuations.

Effects of heat stress and drought are considered by different authors (Ahuja *et al.*, 2010; Sanaullah *et al.*, 2014; Pareek *et al.*, 2020) as important limiting on growth and development of temperate plants and direct influence on biochemical composition of herbage and soil carbon storage. High-temperature extremes become more frequent as a result of increased variability in temperature associated with climate change (Fischer and Knutti, 2015), potentially affecting the stability of agricultural production.

Stability is a complex concept, but very important for agricultural systems, as it provides an understanding of the ability of a system to remain unchanged from external impacts (Angeler and Allen, 2016). In this context, agricultural systems equipped with

greater diversity are usually less vulnerable to oscillations of external factors. A recent study has shown that livestock integration into soybean systems, where cattle grazed winter cover crops between two successive soybean seasons, increased the stability of yields and profitability of the ICLS in comparison to the non-integrated system (Nunes, 2020). The author also found that grazing intensity was an important factor driving the stability of that system, with the best results for the stability of food production obtained when pastures were grazed under moderate intensities. Yet, that study was the first to thoroughly investigate the stability of agricultural systems as induced by crop-livestock integration, so that there is still room to improve the understanding on the stability of ICLS when subjected to a variety of management practices, such as ICLS designs with different stocking methods.

Thus, the hypothesis of this study is that the grazing management in the livestock phase in the ICLS modulates the temporal stability of the food production in agricultural systems. With this view, the objective of this study was to evaluate the influence of grazing management on temporal stability of energy production in ICLS in southern Brazil.

2. Material and Methods

2.1 Site description and experimental design

This study comprises data from a long-term no-till ICLS experiment conducted during 14 years (2003-2016). The experimental site was located at the Agronomic Experimental Station (EEA) of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), in the municipality of Eldorado do Sul, Brazil (30°05'22" S, 51°39'08" W, 46 m a.s.l.). The climate of the region is classified as subtropical humid (Cfa, Köppen classification

system) with an average annual temperature of 18.9 °C and average annual precipitation of 1526 mm over 2003 and 2016 (EEA-UFRGS). January presents the highest monthly average daily temperature (24 °C) and July the lowest monthly average temperature (13 °C) (Figure 1). The soil in the experimental site is classified as a sandy clay loam Acrisol (FAO, 2015), with 19% clay content, deep and well-drained (see more details on soil chemical properties in Alves *et al.*, 2020). The relief is slightly undulating.

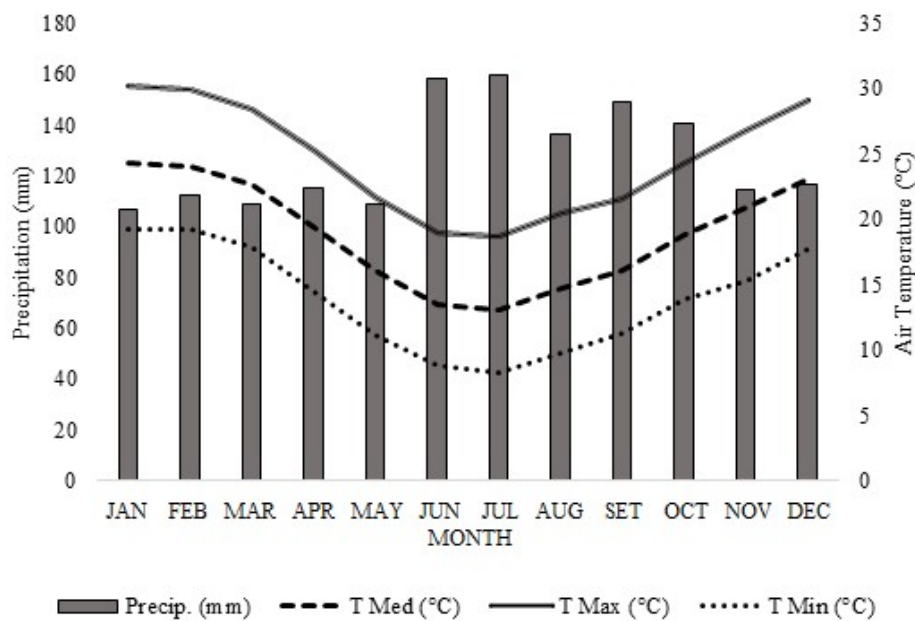


Figure 1. Monthly average air temperature and precipitation at the experimental site. Shown are the historical averages from 1970 to 2016 (46 years) collected daily by a weather station located at approximately 800 m of the trial site (EEA-UFRGS).

The ICLS consisted of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) pastures grazed by sheep during winter/spring seasons, succeeded by soybean crop (*Glycine max.* L. Merr.) or by soybean-maize (*Zea mays* L.) crops in annual rotation during summer/autumn seasons. The data used in this study refers only to soybean crop. The

soybean/maize rotation data were not used in this study because they do not constitute a continuous time series.

The experiment was designed as a randomized complete block in a 2×2 balanced factorial arrangement given by grazing treatments [two stocking methods (continuous and rotational) and two grazing intensities (moderate and low)], resulting in 16 experimental units (paddocks) of similar size within the 4.8 ha experimental area. Grazing treatments consisted of a combination of two grazing intensities and two stocking methods: LC (low continuous), MC (moderate continuous), LR (low rotational) and MR (moderate rotational). Moderate and low grazing intensities corresponded to 2.5 and 5 times the dry matter (DM) intake potential of the sheep, respectively, that is, as lamb DM intake potential is 4% of their live weight (LW) (NRC, 2007), the herbage allowances were 10 and 20 kg of DM per 100 kg of animal LW, respectively.

2.2 Livestock phase

The whole experimental area received a superficial application of $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ lime before Italian ryegrass was sown in the first experimental year (April 16th, 2003), following recommendations based on soil analysis (CQFS-RS/SC, 1995). From 2005 on, Italian ryegrass establishment was given by self-seeding. In 2015 and 2016, however, reestablishment by self-seeding was not satisfactory, requiring a supplementary broadcast seeding operation with 25 kg of seed per ha.

Fertilization was applied during ryegrass establishment, in the doses of 20 kg N ha^{-1} , $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ and $60 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$, according to recommendations based on yearly soil analyses (CQFS-RS/SC, 2004). Additionally, nitrogen fertilization in the form of urea

was applied in two distinct moments: at ryegrass tillering (75 kg N ha^{-1}) and pre-flowering stage (75 kg N ha^{-1}).

2.2.1 Pasture management

The continuous stocking method provided animals unrestricted access to the paddocks over the whole stocking season. For rotational stocking, paddocks were divided into successive strips with movable fences. The length of each stocking cycle in the rotational stocking method (i.e., time elapsed between the beginning of grazing in a strip and returning to the same strip) was defined using Italian ryegrass leaf lifespan criterion to ensure that animals returned to a given strip before the appearance of senescent leaves. Leaf lifespan in the experimental site was identified as $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$ in the period between June and August and $410 \text{ }^{\circ}\text{C}$ between September and November (Pontes *et al.*, 2003). Each strip was grazed for two days before moving to the next strip so that the number of subdivisions in each paddock depended on the length of the stocking cycle.

For both stocking methods, stocking rates were adjusted at the end of each grazing cycle to maintain the target herbage allowances. Three test-sheep remained permanently in the paddocks throughout the stocking season and 'put-and-take' sheep were used to adjust stocking rates to the target herbage allowances (Mott and Lucas, 1952). Experimental animals were castrated male Ile de France, Texel, Suffolk lambs and their crossbreeds, with $34.0 \pm 9.6 \text{ kg}$ of initial LW and 11 ± 0.5 months of age, except for the year 2012, when lactating ewes were used. For this reason, animal data from this year were not considered in the analysis. Also, animal data of years 2008, 2009, 2013 and 2014 were not included in the analyses due to lack of data. Lambs were weighed at the end of each stocking cycle after fasting solids and liquids for approximately 12 hours.

Herbage allowance (HA, kg DM 100 kg LW⁻¹ day⁻¹) was obtained by the following equation:

$$HM (\%LW) = \left(\frac{((HM/n) + DHA)}{SR} \right) * 100$$

Where: HM = average herbage mass of the stocking cycle (kg DM ha⁻¹); n = number of days in the stocking cycle; DHA = daily herbage accumulation (kg DM ha⁻¹ day⁻¹); SR = stocking rate of each stocking cycle (kg LW ha⁻¹). For a detailed description of daily herbage accumulation and herbage mass sampling methodologies and calculations see Savian *et al.* (2014). Total herbage production (THP, kg DM ha⁻¹) was calculated as the sum of herbage mass at the beginning of the stocking period and total herbage accumulation (DHA multiplied by the number of days of the stocking season).

2.2.2 Animal performance

Average daily gain (ADG; kg LW sheep⁻¹ day⁻¹) was obtained by the difference between the final and initial LW of the test-sheep, divided by the number of days in the stocking season. LW gain per area (LWG, kg LW ha⁻¹) was obtained by multiplying the average stocking rate, expressed in sheep per hectare, by the ADG of test-sheep and by the number of grazing days. The stocking rate was calculated by summing the average LW of the test-sheep and the LW of the 'put-and-take' sheep multiplied by the number of days each of them remained in the experimental units, divided by the mean LW of test-sheep.

2.3 Crop phase

During the summer season, the experimental units were cultivated with no-till soybean. Soybean were direct-seeded using 0.45 m line spacing. All management interventions during soybean growing seasons were carried out based on standard recommendations for these crop (RPSRS, 2012; FEPAGRO, 2011). Soybean grain yields were estimated after harvesting by hand all plants at along five randomly selected 2 m linear transects (totaling 10 linear meters, 4.5 m² per plot). Harvested plants were threshed, cleaned, weighed and had their weights adjusted to 13% moisture content. Soybean yield (kg of grain ha⁻¹) was evaluated over eight growing seasons (2003/2004, 2004/2005, 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008, 2011/2012, 2015/2016 and 2016/2017).

2.4 Metabolizable energy production

Energy is not a nutrient, it has no measurable mass and dimension (Case *et al.*, 2000). In this way, it can be placed as an equal currency to analyze different products, such as meat and soybean grains.

Total system production was calculated by the sum of animal production (kg LW ha⁻¹) and grain production (kg ha⁻¹) converted to metabolizable energy (ME, MJ ha⁻¹). The ME of the animal production (LWG, MJ ha⁻¹) was obtained by multiplying the LWG (kg ha⁻¹) by the average carcass yield (43.37%; Carvalho *et al.*, 2006 and Jacques *et al.*, 2011) and by the energy coefficient of the sheep carcass (ME carcass = 13.1 MJ kg⁻¹; Silva *et al.*, 2005). The ME of soybean grain yield (MJ ha⁻¹) was obtained by multiplying the soybean productivity (SGY, kg ha⁻¹) by the average energy coefficient of the soybean (ME soybean = 16.35 MJ kg⁻¹; Alimagham *et al.*, 2017 and Anuonye *et al.*, 2010).

2.5 Temporal stability

Temporal stability was calculated as the relationship between the mean and the standard deviation ($St = \mu/\sigma$) of each studied variable (Lehman and Tilman, 2000). For this, a mean and standard deviation of the experimental years were generated, obtaining a single value per paddock. Stability was obtained by dividing the mean by the standard deviation of each paddock evaluated over the years for the following variables: animal production (LWG, kg ha⁻¹), herbage production (THP, kg DM ha⁻¹), soybean grain yield (SGY, kg ha⁻¹) and system production (crop and livestock phase, MJ ha⁻¹).

2.6 Statistical analyses

Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) at 5% significance level ($p < 0.05$). The assumptions of normality (Shapiro-Wilk, $p > 0.05$), homogeneity of variance (Bartlett, $p > 0.05$) and independence of residuals (visual analysis) were checked. The statistical model for the analysis of temporal stability included stocking method, grazing intensity, and their interaction as fixed effects. Blocks were considered random effects in all models. The analyses were performed with the R statistical software (version 3.6.0). The *lme4* package was used for analyzing the statistical models, and when significant differences were detected, means were compared by Student's t-test ($p < 0.05$) using the *emmeans* package.

3. Results

A summary of the variables considered to calculate the stability index is presented in Table 1.

Table 1. Herbage, animal, grain and system production data (average values \pm standard deviation) used to calculate the stability index of the system in different stocking methods (continuous or rotational) and grazing intensities (low or moderate) in the livestock phase of an ICLS.

Variable	Continuous		Rotational	
	Low	Moderate	Low	Moderate
THP	10491 \pm 2591	7587 \pm 2468	9243 \pm 2597	7823 \pm 2986
LWG	328.9 \pm 147.5	378.6 \pm 224.2	319.3 \pm 132.9	423.1 \pm 250.3
SGY	1678.6 \pm 842.8	1550.5 \pm 1027.9	1758.7 \pm 1170.5	1696.7 \pm 1007.6
MEP	30344 \pm 13676	27769 \pm 17205	31340 \pm 19407	31537 \pm 15467

THP, total herbage production (kg DM/ha); LWG, live weight gain per hectare (kg LW/ha); SGY, soybean grain

yield (kg DM/ha); MEP, metabolizable energy production of the system (MJ/ha)

Grazing intensity affected the temporal stability of livestock phase variables (Figure 2). Low grazing intensity improved the stability of both total herbage production (THP) and live weight gain (LWG) compared to moderate intensity ($p < 0.05$). The THP stability index (mean \pm standard error of the mean) was 2.96 ± 0.13 ; 4.17 ± 0.55 ; 2.54 ± 0.16 and 3.47 ± 0.24 for MC, LC, MR and LR treatments, respectively, and LWG treatments were 1.63 ± 0.10 ; 2.19 ± 0.22 ; 1.62 ± 0.09 and 2.37 ± 0.23 for MC, LC, MR and LR treatments, respectively. No interactions were observed between the stocking method and grazing intensity for the stability of THP and LWG (Figure 2).

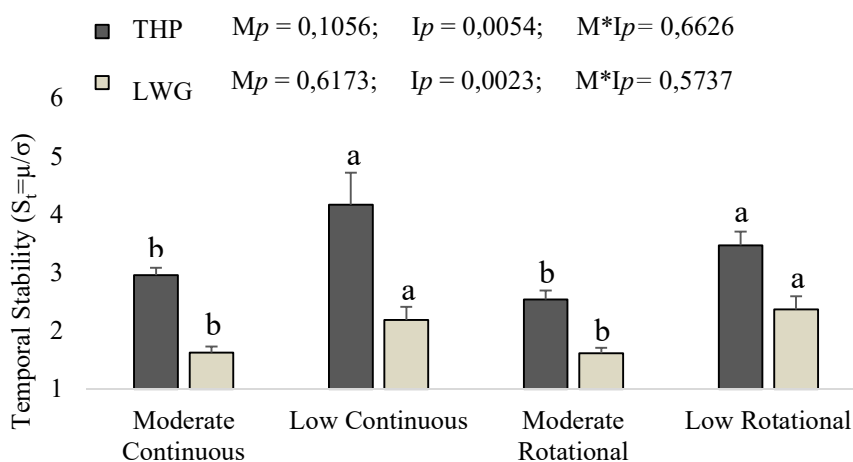


Figure 2. Temporal stability of total herbage production (THP) and live weight gain (LWG) in the livestock phase of an ICLS as a function of stocking methods and grazing intensities. Bars represent the standard

error of the mean. Distinct letters differ from each other at a 5% significance level by Student's t-test. Mp ; Ip ; $M*Ip$ correspond to p-values, their effects and interactions, where M = method; I = intensity and * = interaction.

Different from livestock phase, stocking method and grazing intensity showed no effect on the stability of grain yield, as well as in the temporal stability of total system production ($p > 0.05$; Figure 3).

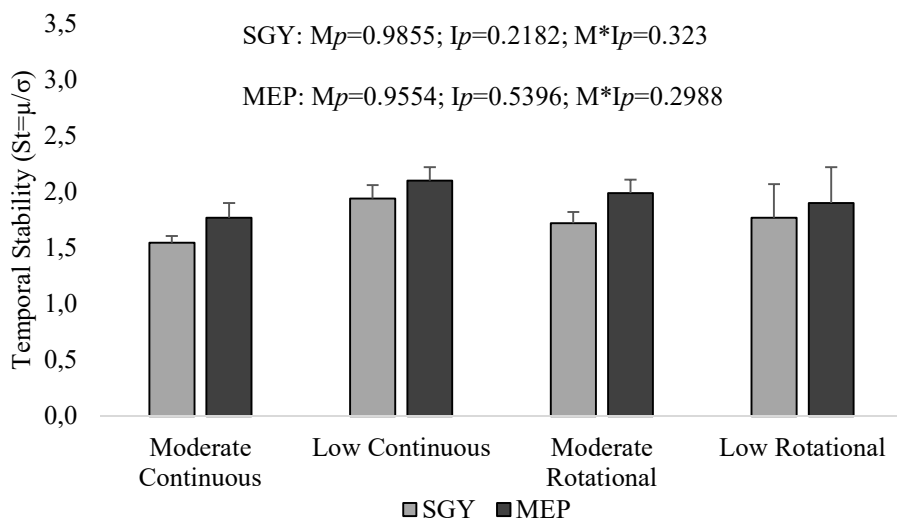


Figure 3. Temporal stability of soybean grain yield (SGY) in the crop phase and of total system production (metabolizable energy production of the system, MEP) in an ICLS as a function of stocking methods and grazing intensities management in the livestock phase. Bars represent the standard error of the mean. Distinct letters differ from each other at a 5% significance level by Student's t-test. Mp ; Ip ; $M*Ip$ correspond to p-values, their effects and interactions, where M = method; I = intensity and * = interaction.

4. Discussion

A temporally stable production system is nothing more than a system that undergoes little variation in production during a specific period. Here we use the term “temporal stability of production” only in relation to variations in time, that is, the low interannual variability of yield implies high stability of production. The stability index found in this study ranged from 1.6 for LWG at moderate to 3.8 for THP at low grazing intensity, and the variable with the highest index was considered more stable. Similar temporal stability indices have been reported by Isbell *et al.* (2015), with values ranging from 3.5 to 10.7 for the response of ecosystem productivity stability to climatic events, however, Lehman and Tilman (2000) argue that there is no limit value for stability, that is, the higher the index, the more stable it is.

The variation in productivity over the years evaluated resulted in the stability index since greater stability indicates less interannual production variability (Lehman and Tilman, 2000; Zhang *et al.*, 2018). It can be seen (Figure 2) that during the livestock phase, low grazing intensity provided greater stability for both THP and LWG ($p < 0.05$) and that the grazing method did not affect ($p > 0.05$) on the stability of the livestock phase. Results by Nunes (2020) demonstrate that the use of moderate to low grazing intensity (20, 30 and 40 cm in mixed Italian ryegrass and oat sward height) increased the stability of the ICLS.

According to Carvalho *et al.* (2018), the management of grazing intensities is vital to determine the success or failure of an agricultural system and the choice of grazing method does not have this meaning. There is a demand for management strategies that maximize productivity by area while maintaining socio-economic sustainability and

system stability. However, maximizing production through intensification can cost your capacity (Tilman *et al.* 2001) and, in the long term, can be more harmful to the system than beneficial (de Souza Filho *et al.*, 2019), not just because of the greater emission of greenhouse gases, for example, but also a greater possibility of degradation of the pastoral environment, with implications for food and economic security. Carvalho *et al.* (2018) explain that, at high grazing intensities, the production of the livestock phase in an ICLS is affected by the low herbage mass, which in turn determines the primary (biomass accumulation rates) and secondary (animal performance) decline. Stability is related to the ability of a system to follow small variations over time, even in the face of disturbances. Finlay and Wilkinson (1963) explain that greater stability does not mean greater productivity, but lesser oscillations. Kunrath *et al.* (2020) and de Souza Filho *et al.* (2019) also reported that, in mixed pastures of black oat and Italian ryegrass in an ICLS, the moderate grazing intensity (20 and 30 cm) obtained lower LWG than the high grazing intensity (10 cm), since it has fewer animals per unit area, but allows a quick return to slaughter, and according to Savian *et al.* (2014), provides a reduction in methane emissions.

From the point of view of the system, the introduction of animals in cropping systems represents an increasing diversity (Carvalho *et al.* 2018), which may reflect on the increase in the stability of the crop and the system production. Grazing experiments have shown that a greater diversity is correlated with greater temporal stability in the annual production of plants above the ground (Tilman *et al.* 2006). Our results show stability index varying between 1.5 and 1.9 for soybean productivity and between 1.8 and 2.1 for the system production, without influence of stocking methods and grazing intensities ($p > 0.05$, Figure 3). According to Arnuti (2018), grazing intensities used in the

winter season did not affect soybean grain yield under monoculture (soybean/soybean) or rotation (soybean/maize) system, corroborating our results.

The animal component in well-managed pastures combined with crops has a great potential to cause a positive impact and may increase the sustainable intensification of food production (Carvalho *et al.*, 2018). According to Arnuti (2018), a low grazing intensity in the winter, associated with intercalated cultivation of grasses and legumes in the summer, promotes greater input of plant residues, constituting an important strategy in increasing the cycling of phosphorus and potassium in the integrated systems. Therefore, a key management strategy to potentially deal with impending climate change is to increase the sustainable intensification of agricultural systems, by adopting ICLS. This concept is related to the insurance hypothesis (Yachi and Loreau 1999), which proposes that biodiversity offers "insurance" against environmental fluctuations, because different species respond differently to changes, leading to more predictable aggregate properties of the community or the ecosystem. Oliveira *et al.* (2013) showed the positive effect of ICLS in increasing gross margin when compared to cropping system, mainly in years with low rainfall, where the livestock phase was important to avoid economic losses.

The lack of studies that evaluate the temporal stability of integrated production systems over time makes it difficult to compare the results with other studies, but it gives us the benefit of presenting innovative work. This study is based on a consistent database of a long-term grazing trial, which allowed for greater precision of the results and provided substantial evidence that, regardless of the stocking method adopted, the factor that influences the temporal stability of production in the livestock phase overtime in an

ICLS is the grazing intensity chosen, and that in the crop phase, grazing methods and low and moderate grazing intensities are not factors for modulating stability.

It is essential to improve the stability of livestock and crop yields in variable environments. Thus, the low grazing intensity may be the most viable option for long-term production when thinking about the temporal stability of animal production and the sustainability of the ICLS in its broadest sense, as it reaches all pillars of sustainability, i.e. economic, environmental and social (less ownership time, less use of financial resources, greater turnover, less use of inputs and maintenance of long-term quality food production). Understanding that increasing diversity in agricultural systems is essential to help farmers adapt to future climate variability is important to reduce losses in production. However, for Foguesatto *et al.* (2019), understanding the environmental values of farmers and their perceptions of climate change are key factors in choosing specific management. Knowledge of the profile of the producer (economic, social or environmental motivation) helps to direct the choice of management to be adopted. If the profile of the producer is focused on environmental interests and the objective is to maintain a stable production system over the years, with less damage to the environment, low grazing intensity in ICLS should be adopted. We believe that the adoption of this management as an objective of managing an ICLS can meet the growing demand for environmentally responsible food production.

5. Conclusion

The results of an ICLS long-term trial in the subtropical region of Brazil suggests that regardless of the stocking method (continuous or rotational), a low grazing intensity should be adopted as a management objective during the livestock phase in the ICLS, as

it provides greater temporal stability of the herbage and sheep production. The grazing methods and grazing intensities (low and moderate) do not affect the temporal stability of the crop and total system production. In other words, integrated systems with well-managed pastures in the rotational or continuous stocking are capable to produce food with stability, which can be a good climate-smart agriculture strategy for food security.

References

- Ahuja, I., de Vos, R.C.H., Bones, A.M., Hall, R.D. 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in Plant Science*. 15, 664-674.
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 869–890. DOI: 10.1007/s13593-015-0285-2
- Angeler, D.G., Allen C.R., 2016. Quantifying resilience. *Journal of Applied Ecology*. 53, 617–624. DOI: 10.1111/1365-2664.12649
- Anuonye, J.C., Onuh, J. O., Egwim, E., Adeyemo, S. O. 2010. Nutrient and antinutrient composition of extruded acha/soybean blends. *Journal of Food Processing and Preservation*. 680–691. DOI: 10.1111/j.1745-4549.2009.00425.x
- Arnuti, F. 2018. Ciclagem e balanço de nutrientes em sistema integrado de produção agrícola e pecuária com ovinos. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Bonaudo, T., Bendahan, A.B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., Tichit, M. 2014., Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *Europ. J. Agronomy*. 57, 43-51. DOI: 10.1016/j.eja.2013.09.010

- Carvalho, P.C.F., Barro, R.S., Neto, A.B., Nunes, P.A.A., Moraes, A., Anghinoni, I., Bredemeier, C., Bayer, C., Martins, A.P., Kunrath, T.R., Santos, D.T., Carmona, F.C., Barros, T., Souza Filho, W., Almeida, G.M., Caetano, L.A.M., Cecagno, D., Arnuti, F., Oliveira, L.G. Denardin, Bonetti, J.A., Toni, C.A.G., Borin, J.B.M. 2018. Integrating the pastoral component in agricultural systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 47, 1-12.
- CQFS-RS/SC. Comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC. 2004. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul, 394 p.
- de Souza Filho, W., Nunes, P.A. de A., Barro, R.S., Kunrath, T.R., de Almeida, G.M., Genro, T.C.M., Bayer, C., de Faccio Carvalho, P.C., 2019. 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. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.245
- di Virgilio, A., Lambertucci, S.A., Morales, J.M., 2019. Sustainable grazing management in rangelands: Over a century searching for a silver bullet. *Agric. Ecosyst. Environ.* 283, 106561. DOI:10.1016/j.agee.2019.05.020
- FAO. 2017. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome.
- FEPAGRO. 2011. Indicações técnicas para o cultivo do milho e do sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2011/2012 e 2012/2013. Ijuí: Fepagro, 140 p.
- Fischer, E.M., Knutti, R. 2015. Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*. 5, 560–564. DOI: 10.1038/NCLIMATE2617

- Finlay, K.W., Wilkinson, G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 742–754.
- Foguesatto, C.R., Borges, J.A.R., Machado, J.A.D., 2019. Farmers' typologies regarding environmental values and climate change: Evidence from southern Brazil. *J. Clean. Prod.* 232, 400–407. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.05.275
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C.B., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature.* 478, 337-342. DOI:10.1038/nature10452
- Franzluebbers A. J., Sawchik J., Taboada, M. T. 2014. Agronomic and environmental impacts of pasture–crop rotations in temperate North and South America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190, 18–26.
- Garrett R. D., Niles M. T., Gil J. D. B., Gaudin A., Chaplin-Kramer R., Assmann A., Assmann T. S., Brewer K., Carvalho P. C. F., Cortner O., Dynes R., Garbach K., Kebreab E., Mueller N., Peterson C., Reis J. C., Snow V., Valentim J. 2017. Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: Current knowledge and remaining uncertainty. *Agricultural Systems*, 155, 136–146.
- Hsiang, S.M., Meng, K.C., 2015. Tropical economics. *Am. Econ. Rev.* 105, 257–261. DOI:10.1257/aer.p20151030
- IPCC, 2018. Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the*

global response to. Intergovernmental Panel on Climate Change., Geneva, Switzerland.

- Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Bezemer, T.M., Bonin, C., Bruelheide, H., De Luca, E., Ebeling, A., Griffin, J.N., Guo, Q., Hautier, Y., Hector, A., Jentsch, A., Kreyling, J., Lanta, V., Manning, P., Meyer, S.T., Mori, A.S., Naeem, S., Niklaus, P.A., Polley, H.W., Reich, P.B., Roscher, C., Seabloom, E.W., Smith, M.D., Thakur, M.P., Tilman, D., Tracy, B.F., Van Der Putten, W.H., Van Ruijven, J., Weigelt, A., Weisser, W.W., Wilsey, B., Eisenhauer, N., 2015. Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature* 526, 574–577. [DOI:10.1038/nature15374](https://doi.org/10.1038/nature15374)
- Jacques, J., Berthiaume, R., Cinq-Mars, D. 2011. Growth performance and carcass characteristics of Dorset lambs fed different concentrates: Forage ratios or fresh grass. *Small Ruminant Research*. 113–119. DOI:10.1016/j.smallrumres.2010.10.002
- Kunrath, T.R., Nunes, P.A. de A., de Souza Filho, W., Cadenazzi, M., Bremm, C., Martins, A.P., Carvalho, P.C. de F., 2020. Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. *Agric. Syst.* 177. DOI:10.1016/j.agsy.2019.102716
- Lehman, C., Tilman, D., 2000. Biodiversity, Stability, and Productivity in Competitive Communities. *Am. Nat.* 156, 534–552. DOI:10.1086/303402
- Lemaire, G.; Agnusdei, M. 2000. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRE, G. *et al.* (Ed.). *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Wallingford: CAB International, p. 265-288.

- Lemaire, G.; Chapman, D., 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Eds.) *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford: CAB International. 3-36.
- Lemaire G., Franzluebbers A., Carvalho P. C. F., Dedieu B 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190, 4–8.
- Longobardi, P., Montenegro, A., Beltrami, H., Eby, M., 2016. Deforestation Induced Climate Change : Effects of Spatial Scale 34. DOI:10.1371/journal.pone.0153357
- Ma, Z., Liu, H., Mi, Z., Zhang, Z., Wang, Y., Xu, W., Jiang, L., He, J.S., 2017. Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production. *Nat. Commun.* 8, 1–7. DOI:10.1038/ncomms15378
- Min S-K, Zhang X, Zwiers F.W, Hegerl G.C., 2011. Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature* 470:378–381. <https://doi.org/10.1038/nature09763>
- Migliorini, P., Wezel, A., 2017. Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 63. DOI:10.1007/s13593-017-0472-4
- Moraes A., Carvalho, P. C. F., Anghinoni I., Lustosa S. B. C., Costa S. E. V. G. A., Kunrath T. R. 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*. 57, 4–9.
- Mott, G.O., Lucas, H.L., 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: Wagner, R.E. (Ed.), *Proceedings of the 6th International Grassland Congress*. State College Press. Pennsylvania. pp. 1380–1385.

- Morecroft, M.D., Crick, H.Q.P., Duffield, S.J., Macgregor N.A., 2012. Resilience to climate change: translating principles into practice. *Journal of Applied Ecology*. 49, 547–551. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02136.x
- Nellemann, C., MacDevette, M., Manders, T., Eickhout, B., Svihus, B., Prins, A.G., Kaltenborn, B.P., 2009. The environmental food crisis – The environment’s role in averting future food crises. A UNEP rapid response assessment. GRID-Arendal, Arendal, Norway, United Nations.
- Nunes, P. A. A. 2020. Estabilidade produtiva do sistema e autossuficiência em azevém anual (*lolium multiflorum* lam.) de um sistema integrado soja/bovinos de corte. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Newman, Y.C.; Sollenberger, L. E.; Boote, K. J. Jr. *et al.* Carbon dioxide and temperature effects on herbage dry matter production. *Crop Science*, v.41, p.399- 406, 2001.
- NRC, 2007., Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO Publishing. DOI:10.1071/9780643095106
- Oliveira C.A.O., Bremm C., Anghinoni I., Moraes A., Kunrath T.R., Carvalho P.C.F., 2013. Comparison of an integrated crop–livestock system with soybean only: Economic and production responses in southern Brazil. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 1-9. DOI: 10.1017/S1742170513000410
- Paramesh, V., Sreekanth, G.B., Chakurkar, E.B., H.B. Kumar, C., Gokuldas, P., Manohara, K.K., Mahajan, G.M., Rajkumar, R.S., Ravisankar, N., Panwar, A.S., 2020. EcosystemNetwork Analysis in a Smallholder Integrated Crop–Livestock System for Coastal Lowland Situation in Tropical Humid Conditions of India. *Sustainability*. 12, 5017; DOI:10.3390/su12125017

- Pareek, A., Dhankher, O.P., Foyer, C.O. 2020. Mitigating the impact of climate change on plant productivity and ecosystem sustainability. *Journal of Experimental Botany*. 71, 451–456. DOI:10.1093/jxb/erz518
- Ramankutty, N., Mehrabi, Z., Waha, K., Jarvis, L., Kremen, C., Herrero, M., Rieseberg, L.H., 2018. Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security. *Annu. Rev. Plant Biol.* 69, 14.1–14.27. DOI:10.1146/annurev-arplant-042817-040256
- Rapidel, B., Ripoche, A., Allinne, C., Metay, A., Deheuvels, O., Lamanda, N., Blazy, J.M., Valdés-Gómez, H., Gary, C., 2015. Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1373–1390. DOI: 10.1007/s13593-015-0317-y.
- Rodehutsord, M., Rückert, C., Maurer, H.P., Schenkel, H., Schipprack, W., Knudsen, K. E. B., Schollenberger, M., Laux, M., Eklund, M., Siegert, W. and Mosenthin, R. 2016. Variation in chemical composition and physical characteristics of cereal grains from different genotypes, *Archives of Animal Nutrition*, 70:2, 87-107, DOI: 10.1080/1745039X.2015.1133111
- Savian, J.V., Neto, A.B., de David, D.B., Bremm, C., Schons, R.M.T., Genro, T.C.M., do Amaral, G.A., Gere, J., MMCanus, C.M., Bayer, C., de Faccio Carvalho, P.C., 2014. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 112–119. [DOI:10.1016/j.agee.2014.02.008](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.008)
- Sanallah, M., Chabbi, A., Girardin, C., Durand, J.L., Poirier, M., Rumpel, C. 2014. Effects of drought and elevated temperature on biochemical composition of forage

- plants and their impact on carbon storage in grassland soil. *Plant Soil*. 374, 767–778.
DOI: 10.1007/s11104-013-1890-y
- Stark, F., Fanchone, A., Semjen, I., Moulin, C. H., Archimède, H., 2016. Crop-livestock integration, from single practice to global functioning in the tropics: Case studies in Guadeloupe. *Europ. J. Agronomy*. 80, 9–20. DOI:10.1016/j.eja.2016.06.004
- Stark, F., González-García, E., Navegantes, L., Miranda, T., Pocard-Chapuis, R., Archimède, H., Moulin, C. H., 2018. Crop-livestock integration determines the agroecological performance of mixed farming systems in Latino-Caribbean farms. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 4. DOI:10.1007/s13593-017-0479-x
- Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, *et al.* 2001. Previsão de mudanças ambientais globais impulsionadas pela agricultura. *Ciência*. 292 (5515): 281–4. DOI:10.1126 / science.1057544
- Tilman D, Reich PB, Knops JMH. 2006. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long pasture experiment. *Nature* 441: 629–632.
- Yachi S, Loreau M. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96: 1463–1468.
- Zhang, Y., Loreau, M., He, N., Wang, J., Pan, Q., Bai, Y., Han, X., 2018. Climate variability decreases species richness and community stability in a temperate grassland. *Oecologia* 188, 183–192. [DOI:10.1007/s00442-018-4208-1](https://doi.org/10.1007/s00442-018-4208-1)

CAPÍTULO IV

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Capítulo II, foi apresentado um estudo derivado de um banco de dados de um experimento de longo prazo sobre a influência dos eventos meteorológicos adversos à produção de proteína em um SIPA manejado sob diferentes métodos de pastoreio (contínuo ou rotativo) e intensidades de pastejo (moderada e baixa) no sul do Brasil. Nossos resultados demonstraram que eventos meteorológicos adversos analisados neste estudo são importantes fatores na resposta produtiva em um SIPA. Além disso, outra importante resposta foi que os métodos de pastoreio e intensidades de pastejo utilizados neste trabalho durante a fase pecuária em um SIPA não foram capazes de modular a resposta da produção de proteína do SISTEMA (grãos e carne) durante a ocorrência de eventos meteorológicos adversos, por ambos fornecerem ofertas de forragem adequada aos animais, não causando efeitos negativos a lavoura.

No Capítulo III, discutiu-se quanto a estabilidade temporal da produção de energia metabolizável do SIPA sob mesmo protocolo experimental, e verificou-se que independentemente do método de pastoreio (contínuo ou rotativo), a baixa intensidade de pastejo proporcionou maior estabilidade da produção de forragem e da produção animal, favorecendo a manutenção da produtividade da fase pecuária. Entretanto, quando avaliada a influência dos métodos de pastejo e intensidades de pastejo sobre a estabilidade temporal da fase lavoura e a produção total do SISTEMA, não houve diferenças entre os tratamentos.

Este estudo reafirmou a importância do uso de protocolos experimentais consistentes e de longa duração para entender as respostas ao longo do tempo, pois é imprescindível compreender os padrões comportamentais dos sistemas alimentares frente as grandes alterações meteorológicas ocorridas e também em cenários futuros, de modo a garantir a produção sustentável de alimentos através do SIPA.

REFERÊNCIAS

- AHUJA, I.; DE VOS, R.C.H.; BONES, A.M.; HALL, R.D. Plant molecular stress responses face climate change. **Trends in Plant Science**, Oxford, v.15, p.664-674, 2010.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I.; HENAO, A.; LANA, M.A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v.35, p.869–890, 2015. DOI: 10.1007/s13593-015-0285-2
- ANGELER, D.G.; ALLEN C.R. Quantifying resilience. **The Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.53, p.617–624, 2016. DOI: 10.1111/1365-2664.12649
- BALBINOT, JR. A. A. *et al.* Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1925–1933, 2009.
- BONETTI, J.A. *et al.* Influência do SISTEMA integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 104–112, 2015.
- BRISKE, D. D.; HEITSCHMIDT, R. K. An ecological perspective. *In*: GRAZING Management: an ecological perspective. Oregon: Timber Press, Inc. Portland, 1991. p. 11-26
- BARBOSA, C.M.P.; CARVALHO, P.C.D.F.; CAUDURO, G.F.; LUNARDI, R.; KUNRATH, T.R.; GIANLUPPI, G.D.F. Terminação de cordeiros em pastagens de azevém anual manejadas em diferentes intensidades e métodos de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.36, p.1953–1960, 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007000900002
- BELL, L. W.; MOORE, A. D. Integrated crop-livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. **Agricultural Systems**, Essex, v. 111, p. 1-12, 2012.
- BONAUDO, T.; BENDAHAN, A.B.; SABATIER, R.; RYSCHAWY, J.; BELLON, S.; LEGER, F.; MAGDA, D.; TICHIT, M. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.57, p.43-51, 2014. DOI: 10.1016/j.eja.2013.09.010
- CARVALHO, P. C. F.; CANTO, M. W.; MORAES, A. Fontes de perdas de forragem sob pastejo: forragem se perde? *In*: PEREIRA, O.G. *et al.* (Org.). **Manejo Estratégico da Pastagem**. Viçosa: [s.n.], 2004. v. 1, p. 387–410.
- CARVALHO, P. C. F. O manejo da pastagem como gerador de ambientes pastoris adequados à produção animal. *In*: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 22., 2005, Piracicaba. **Teoria e Prática da Produção Animal em Pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 7-32.
- CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A. Comportamento ingestivo de ruminantes: bases para o manejo sustentável do pasto. *In*: CECATO, U.; JOBIM, C.C. (Org.). **Manejo Sustentável em Pastagem**. Maringá-PR, 2005. v. 1, p. 1-20.

CARVALHO P. C. F, *et al.* Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.109–122, 2009.

CARVALHO P. C. F, *et al.* Comportamento ingestivo de animais em pastejo. *In*: FORRAGICULTURA: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros. Viçosa: UFV, 2013. p. 525–545.

CARVALHO, P.C.F. *et al.* Integrating the pastoral component in agricultural systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.47, p.1-12, 2018.

CERA, J. C.; FERAZ, S. E. T. Variações climáticas na precipitação no sul do Brasil no clima presente e futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, p.81-88, 2015. DOI: [10.1590/0102-778620130588](https://doi.org/10.1590/0102-778620130588)

DI VIRGILIO, A.; LAMBERTUCCI, S.A.; MORALES, J.M. Sustainable grazing management in rangelands: over a century searching for a silver bullet. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.283, 106561, 2019. DOI: 10.1016/j.agee.2019.05.020

FAO. **The future of food and agriculture** – Trends and challenges. Rome, 2017.

FAO. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development**: the way forward for sustainable production intensification. Rome, 2010. 63 p. (Integrated Crop Management, v.13).

FREITAS, F. K. **Produção ovina em pastagem de azevém manejada sob Intensidades e métodos de pastejo em integração lavoura-pecuária**. 2008. 175f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

FOLEY, J.A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, London, v.478, 337-p. 342, 2011. DOI:10.1038/nature10452

FRANZLUEBBERS, A. J.; SAWCHIK, J.; TABOADA, M. T. Agronomic and environmental impacts of pasture–crop rotations in temperate North and South America. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.190, p.18–26, 2014.

GAUDIN, A.C.M. *et al.* Increasing Crop Diversity Mitigates Weather Variations and Improves Yield Stability. **PLoS ONE**, San Francisco, v.10, n.2, e0113261, 2015. DOI:10.1371/journal.pone.0113261

GARRETT R. D. *et al.* Social and ecological analysis of commercial integrated crop livestock systems: current knowledge and remaining uncertainty. **Agricultural Systems**, Essex, v.155, p.136–146, 2017.

GIBB, M.J.; TREACHER, T.T. The effect of herbage allowance on herbage intake and performance of lambs grazing perennial ryegrass and red clover swards. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.86, n.2, p. 355–365, 1976.

HAYHA, T.; FRANZESE, P.P. Ecosystem services assessment: a review under an ecological economic and systems perspective. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.289, p.124–132, 2014.

HAUTIER, Y. *et al.* Anthropogenic environmental changes affect ecosystem stability via biodiversity. **Science**, Washington, v. 348, n. 6232, p. 336-340, 2015.

HODGSON, J. Variations in the surface characteristics of the sward and the short-term rate of herbage intake by calves and lambs. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.36, n.1, p.49–57, 1981.

HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. London: Longman Group, 1990.

HSIANG, S.M.; MENG, K.C. Tropical economics. **The American Economic Review**, Nashville, v.105, p.257–261, 2015. DOI: 10.1257/aer.p20151030

IPCC. **Climate change 2013: the Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2013.

IPCC. Summary for Policymakers. *In*: GLOBAL Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2018.

IVES, A. R.; CARPENTER, S. R. Stability and diversity of ecosystems. **Science**, Washington, v.317, p.58–62, 2007.

ISELL, F. *et al.* Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. **Nature**, London, v.526, p.574–577, 2015. DOI: 10.1038/nature15374

JONES, P.G.; THORNTON, P.K. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. **Global Environmental Change**, Guildford, v.13, p. 51–59, 2003. DOI: 10.1016/S0959-3780(02)00090-0

KUNRATH, T.R. *et al.* Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. **Agricultural Systems**, Essex, v.177, 2020. DOI:10.1016/j.agsy.2019.102716

LACA, E.A. New Approaches and Tools for Grazing Management. **Rangeland Ecology & Management**, Lakewood, v. 62, n. 5, p. 407–417, 2009.

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

LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; CHABBI, A. **Grassland productivity and ecosystems services**. Wallingford: CABI international, 2011.

LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. *In*: LEMAIER, G. *et al.* (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 265-288.

LEMAIRE G.; FRANZLUEBBERS A.; CARVALHO P. C. F.; DEDIEU B. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.190, p.4–8, 2014.

LEHMAN, C. L.; TILMAN, D. Biodiversity, stability, and productivity in competitive communities. **The American Naturalist**, Chicago, v.156, n.5, p.534-552, 2000. DOI: 10.1086/303402

LOREAU, M.; HECTOR, A. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. **Nature**, London, v.412, p.72–76, 2001.

MA, Z. *et al.* Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production. **Nature Communications**, London, v.8, n.1, p.1–7, 2017. DOI: 10.1038/ncomms15378

MACARI, S. *et al.* Recria de borregas sob diferentes métodos de pastoreio em azevém anual em sucessão a lavoura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1401-1408, out. 2011.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. *In*: GEORGE C.; FAHEY JR. (Eds.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1994. p.450-493.

MIGLIORINI, P.; WEZEL, A. Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v.37, n.6, p.63, 2017. DOI: 10.1007/s13593-017-0472-4

MIN, S-K.; ZHANG, X.; ZWIERS, F.W.; HEGERL, G.C. Human contribution to more-intense precipitation extremes. **Nature**, London, v.470, p.378–381, 2011. DOI: 10.1038/nature09763

MORAINE, M.; DURU, M.; THEROND, O. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop–livestock systems from farm to territory levels. **Renewable Agriculture and Food Systems**, [Cambridge], v. 32, n. 1, p. 43-56, 2016.

MORAES A. *et al.* Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 4–9, 2014.

MORECROFT, M.D.; CRICK, H.Q.P.; DUFFIELD, S.J.; MACGREGOR N.A. Resilience to climate change: translating principles into practice. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 49, p. 547–551, 2012. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2012.02136.x

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. *In*: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952, Pennsylvania. **Proceedings of the...** Pennsylvania: State College Press, 1952. p. 1380–1385.

NELLEMANN, C. *et al.* **The environmental food crisis** – The environment's role in averting future food crises: A UNEP rapid response assessment. [S.l.]: UNEP/Earthprint, 2009.

NUNES, P. A. A. **Estabilidade produtiva do SISTEMA e autossuficiência em azevém anual (*lolium multiflorum lam.*) de um SISTEMA integrado soja/bovinos de corte**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

NRC - National Research Council. **Nutrient Requirements of Sheep**. 6th ed. Washington: National Academic of science, 1985. p. 99.

OLIVER, T. H. *et al.* Declining resilience of ecosystem functions under biodiversity loss. **Nature Communcations**, n.6, 10122, 2015.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Perspectivas Mundiais de População 2019**: destaques. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/>> Acesso em 15/09/2020.

PARAMESH, V. *et al.* Ecosystem Network Analysis in a Smallholder Integrated Crop–Livestock System for Coastal Lowland Situation in Tropical Humid Conditions of India. **Sustainability**, [Basel], v.12, n.12, 5017, 2020. DOI:10.3390/su12125017

PAREEK, A.; DHANKHER, O.P.; FOYER, C.O. Mitigating the impact of climate change on plant productivity and ecosystem sustainability. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.71, p.451–456, 2020. DOI: 10.1093/jxb/erz518

PARSONS, A.J. The effects of season and management on the growth of grass swards. *In*: JONES, M.B.; LAZENBY, A. (Ed.) **The grass crop**: the physiological basis of production. London: Chapman and Hall, 1988. p.129-177.

PENNING, P.D.; PARSONS, A.J.; ORR, R.J. Intake and behaviour responses by sheep to changes in sward characteristics under rotational grazing. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 49, p.476-486, 1994.

PIMM, S. L. The complexity and stability of ecosystems. **Nature**, London, v.307, p. 321–326, 1984.

PORTER, J.R. *et al.* Food security and food production systems. *In*: IPCC. **Climate Change 2014**: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, New York, USA: Cambridge University Press, 2014. p. 485–533.

PRACHE, S.; PEYRAUD, J. Préhensibilité de l'herbe pâturée chez les bovins et les ovins. **INRA Productions Animales**, v.10, p.377-390, 1997.

PONTES, L. S. *et al.* Morphogenetic and structural traits of ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) managed under different sward heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.32, n.4, p. 814–820, 2003.

RAPIDEL, B. *et al.* Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v.35, p.1373–1390, 2015. DOI: 10.1007/s13593-015-0317-y.

RYSCHAWY, J. *et al.* Mixed crop- livestock systems: an economic and environmental- friendly way of farming? **Animal Science**, Penicuik, v. 6, n. 10, p. 1722-1730, 2012.

SANAULLAH, M. *et al.* Effects of drought and elevated temperature on biochemical composition of forage plants and their impact on carbon storage in grassland soil. **Plant and Soil**, The Hague, v.374, p.767–778, 2014. DOI: 10.1007/s11104-013-1890-y

SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, v.101, p.209-216, 2010. DOI: [10.1007/s00704-010-0270-2](https://doi.org/10.1007/s00704-010-0270-2)

SAVIAN, J.V. *et al.* Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.190, p.112–119, 2014. DOI: 10.1016/j.agee.2014.02.008

STARK, F.; FANCHONE, A.; SEMJEN, I.; MOULIN, C. H.; ARCHIMÈDE, H. Crop-livestock integration, from single practice to global functioning in the tropics: Case studies in Guadeloupe. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.80, p.9–20, 2016. DOI: 10.1016/j.eja.2016.06.004

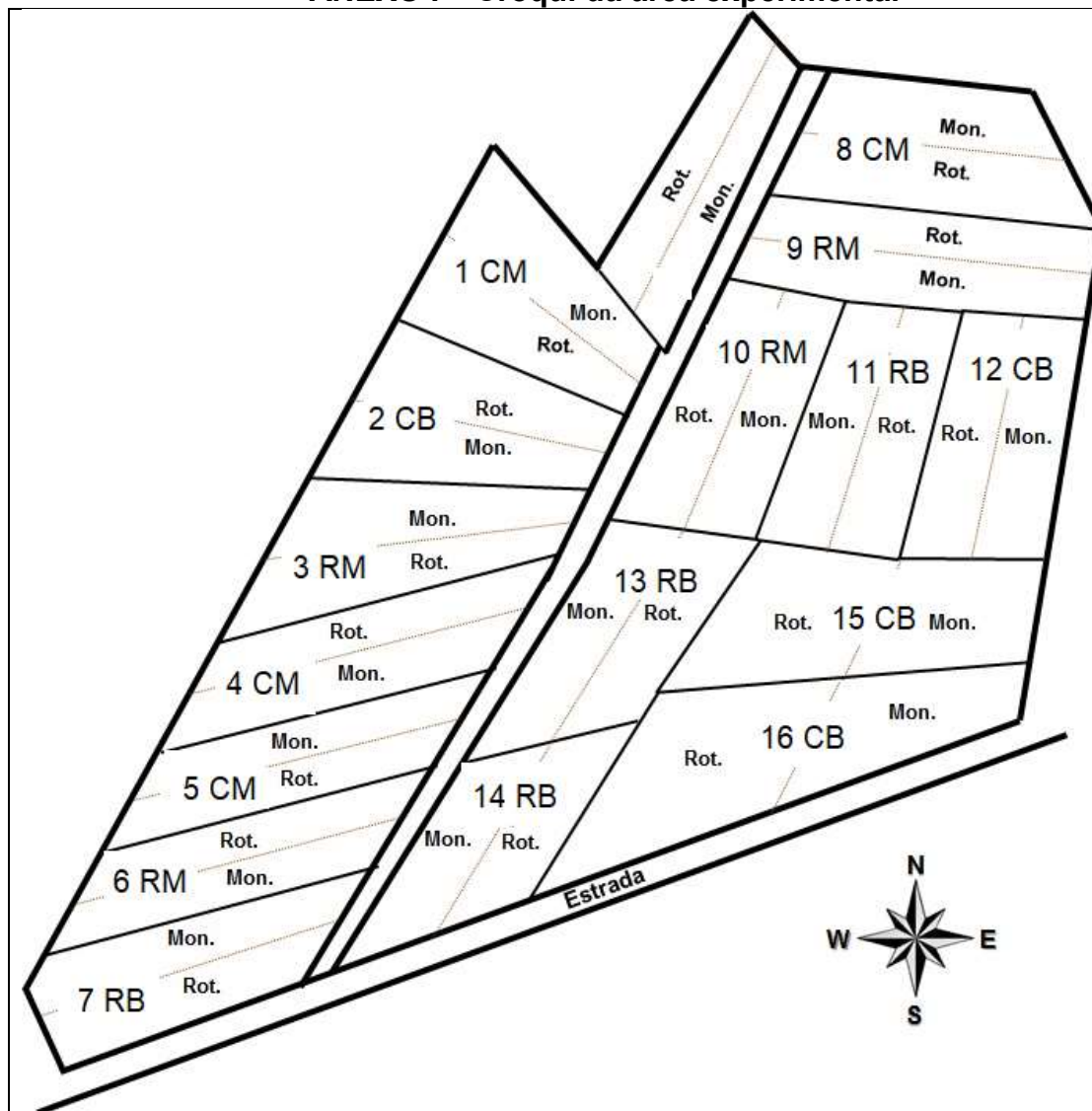
STARK, F.; GONZÁLEZ-GARCÍA, E.; NAVEGANTES, L. Crop-livestock integration determines the agroecological performance of mixed farming systems in Latino-Caribbean farms. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v.38, n.4, 2018. DOI: 10.1007/s13593-017-0479-x

STOATE, C. *et al.* Ecological impacts of arable intensification in Europe. **Journal of environmental management**, [s. l.], v. 63, n. 4, p. 337–365, 2001.

VALADARES FILHO, S.C. *et al.* Perspectivas do uso de indicadores para estimar o consumo individual de bovinos alimentados em grupo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. Anais... João Pessoa, 2006.

ANEXO

ANEXO I – Croqui da área experimental



Anexo I. Croqui da área experimental e disposição das unidades experimentais (potreiros). Os números correspondem ao número do potreiro e a abreviação corresponde ao tratamento aplicado durante a fase pecuária, onde CM = contínuo moderado; CB = contínuo baixo; RM = rotativo moderado e RB = rotativo baixo. No verão as unidades experimentais foram subdivididas em monocultura (soja/soja) e rotação (soja/milho). EEA/UFRGS. Eldorado do Sul, RS.

ANEXO II – Normas para submissão (Capítulo II)

ISSN: 0308-521X

Agricultural Systems

Editor-in-Chief: [V. Snow](#)

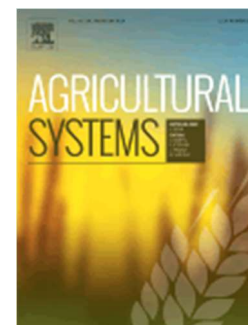
[View Editorial Board](#)

CiteScore: 7.3; Impact Factor: 4.212;

5-Year Impact Factor: **3.969;**

Source Normalized Impact per Paper (SNIP): **1.914;**

SCImago Journal Rank (SJR): **1.505.**



Agricultural Systems is an international journal that deals with interactions - among the components of **agricultural systems**, among hierarchical levels of agricultural systems, between agricultural and other **land use systems**, and between agricultural systems and their **natural, social and economic environments**. Manuscripts submitted to *Agricultural Systems* generally should include both of the following:

- substantive natural science content (especially **farm- or landscape-level** biology or ecology, sometimes combined with social sciences), and
- substantive analysis and discussion of the **interactions** within or among agricultural systems components and other systems.

Preference is given to manuscripts that address whole-farm and landscape level issues, via integration of conceptual, empirical and dynamic modelling approaches.

The scope includes the development and application of systems analysis methodologies (**diagnosis**, simulation and mathematical **modelling**, participatory **modelling**, multi-criteria **assessment**, **trade-off analysis**, participatory **design**, etc.) in the following areas:

- agroecology **and the sustainable intensification** of agriculture as well as transition pathways for sustainable intensification;
- decision-making and **resource allocation** in agricultural systems;
- the **interactions** between agricultural and non-agricultural landscapes;
- the multiple services provided by **agricultural systems** from **food security** to **environmental services**;
- **adaptation and transformation of agricultural systems in the era of global**

change;

- development and application of **tools and methods** for agricultural systems **design, assessment and management;**
- **innovation systems** and multi-stakeholder arrangements that support or promote change and/or informs policy decisions; and
- **big data** and the **digitalisation of agriculture** and their effects on agriculture.

The following subjects are *discouraged*:

- econometric, descriptive or other statistical analyses that exclude systems considerations, landscapes, land use change studies, or other economic analyses without substantive natural science content;
- development of typologies unless the typology developed forms the basis for further systems analysis;
- results from crop or livestock trials unless from systems trials or the results address systems issues;
- studies focusing on social or political outcomes that lack a clear systems framework and direct application to agricultural systems (i.e. the farm production system or landscape, their activities or components, their interactions or synergies);
- conceptual frameworks without empirical implementation (unless submitted as a short communication);
- studies focusing on specific chemical constituents of plant or animal species or their products;
- studies of the operation or efficiency of agricultural or food processing machinery, or of agricultural supply chains without a substantive biological component;
- life cycle analysis (LCA) studies that are primarily descriptive unless LCA is combined with other types of methods that address interactions within agricultural systems or between those systems and their environment.

Such subjects are *not* considered for publication unless they clearly provide substantive and highly generalizable new insights regarding processes operating at farm or landscape levels or describe novel analytical methods applicable to a wide variety of agricultural systems.

The journal publishes original scientific papers, short communications, reviews, perspectives and comments. Review perspective articles and book reviews should only be submitted after consultation with the editors. Review papers generally should focus on the

application of specific methods rather than descriptive analyses of agricultural production systems or supply chains.

"Perspective" articles are intended to provide a forum for authors to present a novel viewpoint on any topic falling within the journal's scope. The key feature of Perspectives is that they are future focused and are expected to stimulate discussions within the community. They may build on recent developments (e.g. published articles, conference highlights, or discuss the implications of new concepts and/or methodological approaches) but other topics will be considered. Perspectives are expected to be relatively short (the guideline length is 2000 words) and should include a short abstract, highlights, main text, references) and one figure summarizing the viewpoint or one table supporting the arguments. Perspectives should have an incisive title. Perspectives are primarily submitted following invitation from an Editor, but volunteered articles will be considered. Authors interested in submitting a Perspective article should seek pre-submission advice through the Agricultural Systems journal home page. All Perspective articles will be rigorously peer reviewed under a rapid review process to ensure short a duration between submission and publication.

Responses to Perspectives may be submitted as "Comment" articles. Comments will be published at the discretion of the Editors. They will be sent to the authors of Perspective articles to provide the opportunity to reply. Comments should not exceed 1000 words and their core message must be clear and directly related to the Perspective article. Comments are not intended to promote the writer's own research but to stimulate constructive comments, amplifications and discussion within the Agricultural Systems community.

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.



Introduction

Agricultural Systems is an international journal that deals with interactions - among the components of agricultural systems, among hierarchical levels of agricultural systems, between agricultural and other land use systems, and between agricultural systems and their natural and social environments. In particular, its aim is to encourage integration of knowledge among those disciplines that underpin agriculture. Many contributions will therefore be multi- or inter-disciplinary. Papers generally focus on either methodological approaches to understanding and managing interactions within or among agricultural systems, or the application of holistic or quantitative systems approaches to a range of problems within agricultural systems and their interactions with other systems. Because of the nature of the readership of *Agricultural Systems*, the contents of papers should be easily accessible (properly introduced, presented and discussed) to readers from a wide range of disciplines.

The scope includes the development and application of systems methodology, including system modelling, simulation and optimization; ecoregional analysis of agriculture and land use; studies on natural resource issues related to agriculture; impact and scenario analyses related to topics such as GMOs, multifunctional land use and global change; and the development and application of decision and discussion support systems; approaches to analysing and improving farming systems; technology transfer in tropical and temperate agriculture; and the relationship between agricultural development issues and policy.

Types of paper

The journal publishes original scientific papers, short communications, reviews, perspectives, and comments. Reviews and perspectives should be submitted only after consultation with the Editors via the journal's home page.

Length of Papers

Although there is no absolute word or page limit for manuscripts submitted to *AGSY*, a recommended maximum is 8000 words for research papers, 4000 words for short communications, 2000 words for perspectives, and 1000 words for comments. Contributions longer than these recommendations may result in a request for modifications to bring the manuscript within these limits.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the

journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
 - All figures (include relevant captions)
 - All tables (including titles, description, footnotes)
 - Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
 - Indicate clearly if color should be used for any figures in print
- Graphical Abstracts / Highlights files* (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).



Before You Begin

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step. **Note: Please do not convert the .docx template to another file type. Author signatures are not required.** If there are no interests to declare, please choose: 'Declarations of interest: none' in the template. This statement will be published within the article if accepted. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Content should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader; contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of age, gender, race, ethnicity, culture,

sexual orientation, disability or health condition; and use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, stereotypes, slang, reference to dominant culture and/or cultural assumptions. We advise to seek gender neutrality by using plural nouns ("clinicians, patients/clients") as default/wherever possible to avoid using "he, she," or "he/she." We recommend avoiding the use of descriptors that refer to personal attributes such as age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition unless they are relevant and valid. These guidelines are meant as a point of reference to help identify appropriate language but are by no means exhaustive or definitive.

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for

resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author ***rights***

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier ***supports*** ***responsible*** ***sharing***

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role **of** **the** **funding** **source**

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Open **access**

Please visit our [Open Access page](#) for more information.

Elsevier ***Researcher*** ***Academy***

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language ***(usage*** ***and*** ***editing*** ***services)***

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a

mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Submit *your* **article**

Please submit your article via <https://www.evise.com/profile/api/navigate/AGSY>

Reviewers

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 4 potential reviewers and indicate briefly per reviewer what the relevant expertise of the reviewer is. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.



Preparation

NEW

SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process. As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or lay-out that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting

requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes. Divide the article into clearly defined sections.

Please ensure the text of your paper is double-spaced this is an essential peer review requirement.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Peer

review

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review.](#)

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. The abstract is not included in section numbering, so the Introduction is section 1. Subsections should also be numbered (for instance 2.1 (then 2.1.1, 2.1.2, 2.2, etc.) Do not use more than three levels of numbering. Use the section numbering also for internal cross-referencing, if necessary. Any subsection should be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Material and Methods

Manuscripts in general should be organized in the following manner:

- Title
- Name(s) of author(s)
- Affiliations
- Abstract
- Graphical abstract
- Key words (indexing terms), normally 3-6 items
- Highlights
- Introduction
- Material studied, area descriptions, methods, techniques
- Results
- Discussion
- Conclusion
- Acknowledgements and any additional information concerning research grants, etc.
- References
- Appendices

-
- Figures

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract of no more than 400 words is required. The abstract should state briefly the objective the research, methods used, principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided. Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical**abstract**

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site. Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in the text at first use. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article just before the References section. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc. and institutions that provided funding for the research.

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Nomenclature and Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

Authors and Editor(s) are, by general agreement, obliged to accept the rules governing biological nomenclature, as laid down in the *International Code of Botanical Nomenclature*, the *International Code of Nomenclature of Bacteria*, and the *International Code of Zoological Nomenclature*.

All biotica (crops, plants, insects, birds, mammals, etc.) should be identified by their scientific names when the English term is first used, with the exception of common domestic animals.

All biocides and other organic compounds must be identified by their Geneva names when first used in the text. Active ingredients of all formulations should be likewise identified.

For chemical nomenclature, the conventions of the *International Union of Pure and Applied Chemistry* and the official recommendations of the *IUPAC-IUB Combined Commission on Biochemical Nomenclature* should be followed.

Math**formulae**

Present simple formulae in the line of normal text where possible. In principle, variables are to be presented in italics. Subscripts and superscripts should be clear. Greek letters and other non-Roman or handwritten symbols should be explained in the margin where they are first used. Take special care to show clearly the difference between zero (0) and the letter O, and between one (1) and the letter l. Give the meaning of all symbols immediately after the equation in which they are first used. For simple fractions use the solidus (/) instead of a horizontal line. Equations should be numbered serially at the right-hand side in parentheses. In general only equations explicitly referred to in the text need be numbered. The use of fractional powers instead of root signs is recommended. Also powers of e are often more conveniently denoted by exp. Levels of statistical significance which can be mentioned without further explanation are: *P <0.05, **P <0.01 and ***P <0.001. In chemical formulae, valence of ions should be given as, e.g., Ca²⁺, not as Ca⁺⁺. Isotope numbers should precede the symbols, e.g., ¹⁸O.

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Electronic**artwork***General**points*

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available. **You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.**

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):
 EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.
 TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.
 TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation *in* **text**

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Unpublished results and personal communications are cited in the text only and are not included in the reference list. Citation of a reference as "in press" implies that the item has been accepted for publication. Minimize references to non-English publications as these are not easily accessible for the majority of the readership.

Reference *links*

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is highly encouraged.

A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, DOI:10.1029/2001JB000884. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web *references*

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g.,

after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data **references**

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References **in** **a** **special** **issue**

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference **management** **software**

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/agricultural-systems>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference **formatting**

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume

number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Reference

style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by '*et al.*' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references can be listed either first alphabetically, then chronologically, or vice versa. Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999)... Or, as demonstrated (Jones, 1999; Allan, 2000)... Kramer *et al.* (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:
Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59. DOI:10.1016/j.Sc.2010.00372.

Reference to a journal publication with an article number:
Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2018. The art of writing a scientific article. *Heliyon.* 19, e00205. DOI:10.1016/j.heliyon.2018.e00205.

Reference to a book:
Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:
Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:
Cancer Research UK, 1975. *Cancer statistics reports for the UK*. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed

13 March 2003).
 Reference to a dataset:
 [dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1. DOI:10.17632/xwj98nb39r.1.

Journal abbreviations source
 Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary material
 Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, detailed model descriptions, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats.

Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Research

data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data

linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley**Data**

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data**in****Brief**

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 600 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

Data**statement**

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your

submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).



After Acceptance

Online

proof

correction

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding

authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.



Author Inquiries

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch. You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).

VITAE

Juliane Machado de Castro, brasileira, filha de Genir Roque Machado e José de Castro, nascida em 26 de julho de 1990 na cidade de Planalto, Paraná. Mãe de Ana Julia Lino (nascida em 2010) e Yan Nunes (nascido em 2015).

Cursou o ensino médio no colégio João Zacco - Paraná, concluindo no ano de 2007. Em 2008 iniciou a graduação em Zootecnia na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Dois Vizinhos, Paraná. Durante a graduação participou como voluntária no setor de ovinocultura da universidade, participando do desenvolvimento de pesquisas na área até o final da graduação, sob orientação do prof. Dr. Vicente de Paulo Macedo. Também foi bolsista de iniciação científica (PIBIC) onde trabalhou com utilização de glicerina bruta na dieta de caprinos, em convênio com o IAPAR, Paraná, sob orientação da profa. Dra. Emilyn Midori Maeda. Fez seu estágio curricular obrigatório na fazenda da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO, em Viamão, RS, em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sob a orientação do Prof. Dr. Cesar Henrique Espírito Candal Poli, de dezembro de 2012 a maio de 2013. Formou-se em Zootecnia em maio de 2013. Em abril de 2014 iniciou o Mestrado em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, e linha de pesquisa em Produção e Nutrição de Ruminantes, no programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, pela UFRGS, sob a orientação do prof. Dr. Cesar Henrique Espírito Candal Poli, sendo bolsista da CAPES, com a obtenção do grau de Mestre em Zootecnia em Julho de 2016. Em agosto de 2016 ingressou no Doutorado em Zootecnia, área de concentração Plantas Forrageiras e linha de pesquisa em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), no programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, pela UFRGS, sob a orientação da profa. Dra. Carolina Bremm, sendo bolsista da CAPES, com a obtenção do grau de Doutora em Zootecnia em Setembro de 2020.