

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

COMO A INTENSIDADE DE PASTEJO DETERMINA A HETEROGENEIDADE  
ESPACIAL DA VEGETAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES EM UM SISTEMA  
INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

PEDRO ARTHUR DE ALBUQUERQUE NUNES  
Engenheiro Agrônomo/UFSM

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do grau de  
Mestre em Zootecnia

Área de Concentração Plantas Forrageiras

Porto Alegre (RS), Brasil

Março, 2016

### CIP - Catalogação na Publicação

de Albuquerque Nunes, Pedro Arthur  
Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária / Pedro Arthur de Albuquerque Nunes. -- 2016.  
87 f.

Orientador: Paulo César de Faccio Carvalho.  
Coorientador: Olivier Jean François Bonnet.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. altura do pasto. 2. bovinos. 3. intensificação sustentável. 4. produção animal. 5. sistemas mistos. I. de Faccio Carvalho, Paulo César, orient. II. Bonnet, Olivier Jean François, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PEDRO ARTHUR DE ALBUQUERQUE NUNES  
Engenheiro Agrônomo

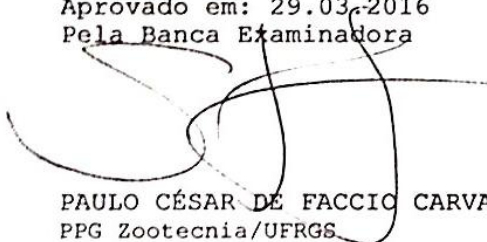
## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### MESTRE EM ZOOTECNIA

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

Aprovado em: 29.03.2016  
Pela Banca Examinadora

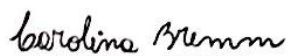



PAULO CÉSAR DE FACCIO CARVALHO  
PPG Zootecnia/UFRGS  
Orientador


Homologado em: 25.05.2016  
Por




PAULO CESAR DE FACCIO CARVALHO  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Zootecnia

  
CAROLINA BREMM  
UFRGS

  
CHRISTIAN BREDEMEIER  
UFRGS

  
HORACIO LEANDRO GONDA  
UNCPBA

  
PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de Agronomia

*A minha mãe, por sempre me apoiar em mais esta etapa de minha vida.  
Ao meu padrinho Beto e ao meu tio Gilberto, pelo exemplo e inspiração.*  
**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

*Primeiramente, agradeço a Deus por guiar meus passos e estar sempre ao meu lado.*

*Aos meus familiares, em especial à minha mãe “Batita”, por ter se dedicado ao máximo, apoiado minhas escolhas e me ensinado valores. Ao meu pai “Nick”, pelo suporte e pela amizade.*

*Ao meu padrinho Beto e ao meu tio Gilberto, pelo exemplo e inspiração.*

*À minha amada Bruna, pela compreensão e paciência nos momentos de afastamento.*

*Ao professor Paulo Carvalho, pela confiança em mim depositada, pela oportunidade de fazer parte de seu grupo e pelos ensinamentos.*

*Ao professor Horacio “Picho” Gonda, pela dedicação e amizade durante minha passagem por Tandil.*

*Aos professores Carolina Bremm e Christian Bredemeier, pela paciência e disponibilidade, sem os quais a realização deste trabalho não seria possível.*

*À Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade de realização do mestrado nesta que é uma das melhores universidades do Brasil.*

*À FAPERGS, pela concessão da bolsa de estudos durante estes anos.  
À CAPES, por oportunizar a realização do período sanduíche na Argentina.*

*Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pelo ensino de excelência.*

*A todos do GPEP, mas especialmente aos pós-docs, nas pessoas do Armindo, Ian, Olivier, Raquel e Taíse, pelo suporte em todas as horas e pela amizade.*

*Aos meus fiéis parceiros de Tupã, que me acompanharam nas boas e nas ruins, que enfrentaram incansavelmente as horas de estrada e serviço ao longo destes dois anos, e que foram fundamentais para que este trabalho existisse:  
Augusto, Gleice e William.*

*Ao amigo Lucas Cadó, pelo convívio diário durante o mestrado.*

*Ao Francisco, por disponibilizar nossas instalações, refeições e pela amizade.  
Aos funcionários, ou no palavrear campeiro, peões da Fazenda do Espinilho, pela imprescindível ajuda e, mais do que isso, pelos mates, causos e campereadas que resultaram em grandes amizades.  
Ao Saulo, à Carmem e seus familiares.*

**MUITO OBRIGADO!**

## COMO A INTENSIDADE DE PASTEJO DETERMINA A HETEROGENEIDADE ESPACIAL DA VEGETAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES EM UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA<sup>1</sup>

Autor: Pedro Arthur de Albuquerque Nunes

Orientador: Paulo César de Faccio Carvalho

**Resumo** - A heterogeneidade espacial induzida pelo pastejo tem sido reconhecida como um componente crucial para o manejo sustentável dos ecossistemas. Ainda assim, a maioria das intervenções realizadas pelo homem tende à homogeneização dos ambientes, inclusive no manejo dos animais. Neste estudo, foi investigado o efeito da intensidade de pastejo sobre a heterogeneidade espacial da vegetação e a criação de uma estrutura ótima para a maximização da taxa de ingestão dos animais, e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA). O experimento foi conduzido durante o inverno de 2015, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em um protocolo experimental de longo prazo iniciado em 2001. Os tratamentos foram arrançados em um delineamento de blocos completamente casualizados com três repetições e consistiram em diferentes intensidades de pastejo por bovinos em pasto misto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.): pastejo intenso (P10), pastejo moderado (P20), pastejo moderado-leve (P30), pastejo leve (P40) e ausência de pastejo (SP). A heterogeneidade espacial da vegetação aumentou com a diminuição da intensidade de pastejo. Maior heterogeneidade e estruturação espacial foram identificadas no mês de julho, durante o período vegetativo de ambas as espécies forrageiras. O início do florescimento ocasionou uma diminuição na dependência espacial e um incremento na heterogeneidade abaixo da escala de observação. P10 apresentou dossel homogêneo espacialmente ao longo de todo o ciclo de pastejo, composto em sua maior parte por uma vegetação excessivamente pastejada (<10 cm). P20 apresentou maior participação de alturas ótimas para a maximização da taxa de ingestão (15 a 29,99 cm) ao longo do ciclo de pastejo. Com o aumento da intensidade de pastejo, aumentaram também a carga animal (CA,  $P < 0,05$ ) e o ganho de peso vivo por área (GPV,  $P < 0,05$ ). A intensidade de pastejo moderada (P20) apresentou maior ganho médio diário (GMD,  $P < 0,05$ ) quando comparada ao pastejo intenso (P10), não diferindo, no entanto, de P30 e P40. Sendo assim, a utilização de intensidades de pastejo moderadas constitui na melhor alternativa para conciliar produtividade e conservação ambiental em SIPA.

**Palavras-chave:** altura do pasto, agricultura conservacionista, bovinos, intensificação sustentável, produção animal, sistemas mistos

---

<sup>1</sup>Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Plantas forrageiras, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (87p.), Março, 2016.

## HOW DOES GRAZING INTENSITY DETERMINE VEGETATION SPATIAL HETEROGENEITY AND ITS IMPLICATIONS FOR AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM<sup>1</sup>

Author: Pedro Arthur de Albuquerque Nunes

Advisor: Paulo César de Faccio Carvalho

**Abstract** – Spatial heterogeneity induced by grazing has been recognized as a crucial component to the ecosystems sustainable management. Even so, most of the interventions made by humans tend to homogenize the environments, including animal management. In this study, we investigated the effect of grazing intensity on vegetation spatial heterogeneity and creation of an optimal structure for maximizing animals intake rate, and the implications for an Integrated Crop-Livestock System (ICLS). The experiment was carried out during winter 2015, in the Rio Grande do Sul state, Southern Brazil, in a long-term experimental protocol implemented in 2001. Treatments were arranged in a randomized complete block design with three replicates and consisted of different grazing intensities by steers on Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and black oat (*Avena strigosa* Schreb.) mixed pastures: intensive grazing (P10), moderate grazing (P20), moderate-light grazing (P30), light grazing (P40) and absence of grazing (NG). Vegetation spatial heterogeneity increased with decreasing grazing intensities. Greater heterogeneity and spatial dependence were identified in July, during both forage species growing season. The flowering initiation caused a decrease in spatial dependence and an increase in small scale spatial heterogeneity (nugget effect). P10 showed a spatially homogeneous canopy throughout the grazing cycle, composed mostly by an excessively grazed vegetation (<10 cm). P20 showed higher participation of optimal heights for maximizing the intake rate (15 to 29,99 cm) throughout the grazing cycle. Increasing grazing intensity also increased stocking rate (SR,  $P < 0,05$ ) and liveweight gain per area (LWG,  $P < 0,05$ ). Moderate grazing intensity (P20) showed higher average daily gain (ADG,  $P < 0,05$ ) compared to intensive grazing (P10), without difference, however, from P30 and P40. Therefore, the utilization of moderate grazing intensities is the best alternative to reconcile productivity and environmental conservation in ICLS.

**Keywords:** animal production, cattle, conservation agriculture, mixed systems, sustainable intensification, sward height

---

<sup>1</sup>Master of Science dissertation in Forage Science – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (87p.), March, 2016.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>13</b>
1.1	INTRODUÇÃO .....	14
1.2	HIPÓTESES DE ESTUDO .....	15
1.3	OBJETIVOS .....	15
1.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
1.4.1	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária: conciliando produção e sustentabilidade .....	16
1.4.2	O animal como agente transformador do ambiente: o surgimento da heterogeneidade e suas implicações em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária.....	21
1.4.3	A heterogeneidade espacial da vegetação a favor da produção animal: condicionando uma estrutura de dossel que maximize a ingestão de forragem .....	25
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>29</b>
	<b>Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária</b> .....	<b>30</b>
2.1	Introdução .....	31
2.2	Material e Métodos .....	34
2.2.1	Área de estudo e delineamento experimental.....	34
2.2.2	Condução e amostragem da vegetação .....	35
2.2.3	Manejo e desempenho dos animais.....	36
2.2.4	Análise Estatística.....	37
2.3	Resultados.....	39
2.3.1	Produção de forragem .....	39
2.3.2	Semivariogramas de distribuição das alturas do pasto.....	41
2.3.3	Composição do dossel.....	43
2.3.4	Produção animal .....	46
2.4	Discussão .....	46
2.4.1	Efeito da intensidade de pastejo sobre a produção de forragem.....	46
2.4.2	Efeito da intensidade de pastejo sobre a heterogeneidade da vegetação .....	49
2.4.3	Efeito da heterogeneidade espacial sobre a produção animal.....	55
2.5	Conclusões.....	58
2.6	Referências .....	60
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>66</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>68</b>
<b>5</b>	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>VITA</b> .....	<b>87</b>



## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>CAPÍTULO II</b>	<b>Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária</b>	
Tabela 1	Características produtivas do pasto de azevém anual e aveia-preta sob diferentes intensidades de pastejo (P10, pastejo intenso; P20, pastejo moderado; P30, pastejo moderado-leve, P40, pastejo leve; SP, sem pastejo) por bovinos de corte.....	39
Tabela 2	Participação (%) de diferentes intervalos de altura da vegetação na composição do dossel em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta ao longo do tempo, sob diferentes intensidades de pastejo (P10, pastejo intenso; P20, pastejo moderado; P30, pastejo moderado-leve, P40, pastejo leve; SP, sem pastejo) por bovinos.....	44
Tabela 3	Variáveis de desempenho de bovinos de corte em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta sob diferentes intensidades de pastejo (P10, pastejo intenso; P20, pastejo moderado; P30, pastejo moderado-leve, P40, pastejo leve; SP, sem pastejo).....	46

## RELAÇÃO DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO II</b>	<b>Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária</b>	
Figura 1	Dispersão das observações de altura do dossel em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta sob diferentes intensidades de pastejo ao longo do tempo (a linha horizontal tracejada representa as metas de manejo nos respectivos tratamentos, i.e., 10, 20, 30 e 40 cm).....	40
Figura 2	Semivariogramas experimentais de distribuição das alturas da vegetação em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta ao longo do tempo sob diferentes intensidades de pastejo por bovinos.....	42
Figura 3	Mapas originados por krigagem ordinária das alturas da vegetação (cm) em poteiros com diferentes intensidades de pastejo por bovinos sobre pastos mistos de azevém anual e aveia-preta (a) antes da entrada dos animais, (b) quando atingiram máxima heterogeneidade e estruturação espacial e (c) na última data de avaliação.....	43

## RELAÇÃO DE APÊNDICES

<b>Apêndice 1</b>	Normas para elaboração e submissão de trabalhos científicos à revista Agriculture, Ecosystems & Environment.....	75
-------------------	--	----

**LISTA DE ABREVIATURAS**

AR	altura real
C	carbono
CA	carga animal
cm	centímetros
g	gramas
GMD	ganho médio diário
GPV	ganho de peso vivo por área
ha	hectares
K	potássio
IAF	Índice de Área Foliar
kg	quilogramas
m	metros
MF	massa de forragem
Mg	megagramas
mm	milímetros
N	nitrogênio
MS	matéria seca
P	fósforo
PTMS	produção total de matéria seca
PV	peso vivo
P10	pastejo intenso
P20	pastejo moderado
P30	pastejo moderado-leve
P40	pastejo leve
SIPA	Sistema(s) Integrado(s) de Produção Agropecuária
SP	sem pastejo
SPD	Sistema de Plantio Direto
TxAC	taxa de acúmulo
UE	unidade experimental

# 1 CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUÇÃO

A integração da lavoura com a pecuária é um conceito tão antigo quanto a domesticação dos animais e das plantas pelo homem, há milhares de anos atrás (CARVALHO et al., 2005). No entanto, a especialização dos sistemas produtivos ocorrida no último século na maioria dos países industrializados resultou em uma separação entre produção vegetal e animal (RUSSELLE et al., 2007), a partir da ampla e descompromissada utilização de recursos não renováveis e da simplificação dos sistemas agrícolas, trazendo consigo crescentes impactos ambientais (TILMAN et al., 2002; LEMAIRE et al., 2014).

De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2010), há uma necessidade de aumentar a produção de alimentos e fibras para suprir a demanda de uma população crescente que chegará a 9,2 bilhões de pessoas em 2050, aumento este que deverá ocorrer 90% através da intensificação (“maximização da produção primária por unidade de área”) e apenas 10% a partir da expansão das áreas agrícolas. Por esta razão, os impactos ambientais gerados pelos sistemas agropecuários deverão ser reduzidos, de forma que a intensificação destes sistemas ocorra de forma sustentável (“sem comprometer a capacidade do sistema em se manter produtivo”).

A heterogeneidade espacial da vegetação induzida pelo pastejo tem sido reconhecida como um componente crucial para o manejo sustentável dos ecossistemas, sejam eles baseados em pastagens naturais ou cultivadas (LIN et al., 2010). Em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), a existência de heterogeneidade espacial é bastante reconhecida. No entanto, a escala ou extensão na qual ela ocorre e como pode diferenciar-se nos diferentes ambientes é ainda pouco entendida (SALTON & CARVALHO, 2007). Para Lin et al. (2010), pouco ainda se sabe a respeito do impacto do pastejo sobre os padrões espaciais da vegetação, ainda que muito já se tenha mostrado que ele é capaz de criar, manter ou mesmo destruí-los, de modo que informações mais detalhadas são necessárias para entender as complexas interações entre as plantas e os animais (REN et al., 2015).

Apesar do exposto, a maioria das intervenções realizadas pelo homem tende à homogeneização dos ambientes, inclusive o manejo dos animais, promovendo neste caso a uniformização da colheita de pasto (ADLER et al., 2001) que resulta em extensas áreas altamente pastejadas, limitando a seletividade e o desempenho dos animais (CID & BRIZUELA, 1998). Esta tendência ocorre, muitas vezes, devido à complexidade inerente a ambientes mais heterogêneos, a despeito das importantes funções ecológicas dos mesmos, decorrentes de sinergismos entre os compartimentos solo-planta-animal (ANGHINONI et al., 2013) que fazem com que sistemas mais complexos se aproximem do funcionamento e do equilíbrio de ecossistemas naturais (KIRSCHENMANN, 2007).

O manejo das pastagens em SIPA fazendo uso da intensidade de pastejo como ferramenta deve vislumbrar a construção de uma estrutura de vegetação que consiga otimizar a colheita de forragem pelos animais (WESP et al., 2016), pois a estrutura do pasto determina a disposição das folhas e colmos e sua acessibilidade pelo animal, influenciando diretamente a taxa de ingestão

(AGREIL et al., 2006). Segundo Stobbs (1975), a produção animal pode ser aumentada a partir da utilização de pastos ricos e densos em folhas, e por práticas de manejo que mantenham as pastagens o mais próximo possível do ótimo para a fácil desfolhação pelos herbívoros.

Para Carvalho et al. (2001), o desenvolvimento de técnicas que venham a melhor descrever o ambiente de pastejo é um grande desafio para o futuro. Provenza et al. (2015) consideram que existe uma lacuna considerável a ser preenchida com informações sobre a dinâmica do pastejo e a heterogeneidade dos sistemas pastoris, incluindo pastagens cultivadas ou monoculturas. A incorporação de conhecimentos acerca da heterogeneidade espacial da vegetação e das estratégias de alimentação dos herbívoros nos modelos de interação planta-animal irão incrementar a nossa capacidade de relacionar, na prática, as características da vegetação ao consumo e, conseqüentemente, o desempenho animal (DISTEL et al., 1995). Em posse das respostas, o pastejo terá potencial de ser utilizado como uma importante ferramenta do manejo conservacionista na promoção de serviços ecossistêmicos (COLLINS et al., 1998) rumo à intensificação sustentável dos sistemas de produção.

Dessa forma, o presente trabalho buscou investigar o efeito de diferentes intensidades de pastejo por bovinos sobre a heterogeneidade espacial da vegetação e suas possíveis implicações em um SIPA no sul do Brasil. Os resultados serão apresentados no Capítulo II desta dissertação, na forma de um artigo científico.

## 1.2 HIPÓTESES DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido com base nas seguintes hipóteses: (1) A presença de animais impõe heterogeneidade ao sistema a partir da ação direta do pastejo sobre a vegetação. (2) A heterogeneidade espacial da vegetação em uma pastagem mista de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária é maior quanto menor a intensidade de pastejo utilizada. (3) O manejo do pasto sob intensidade de pastejo moderada condiciona uma estrutura de vegetação com maior proporção de alturas ótimas para a maximização da taxa de ingestão dos animais.

## 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos deste estudo foram (1) verificar como a intensidade de pastejo determina diferentes níveis de heterogeneidade na vegetação e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária e (2) determinar a intensidade de pastejo que, em regime de pastoreio contínuo, condiciona uma estrutura de vegetação com maior participação de alturas ótimas para a maximização da taxa de ingestão de bovinos em pastos mistos de azevém anual e aveia-preta ao longo do ciclo de pastejo.

## 1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.4.1 Sistemas Integrados de Produção Agropecuária: conciliando produção e sustentabilidade

A integração da lavoura com a pecuária é um conceito tão antigo quanto a domesticação dos animais e das plantas pelo homem, há milhares de anos atrás (CARVALHO et al., 2005; RUSSELLE et al., 2007). Desenvolvida sobre a idéia de utilizar os resíduos da lavoura e as áreas não cultivadas na alimentação dos animais para a produção de carne, leite e produtos associados, enquanto estes geravam estrume para fertilizar as áreas de cultivo (RUSSELLE et al., 2007), a combinação de atividades dentro destes sistemas pode ser tão distinta quanto a diversidade de cultivos agrícolas e espécies domesticadas nas diversas regiões do planeta (CARVALHO et al., 2005). No entanto, a especialização dos sistemas produtivos ocorrida no último século na maioria dos países industrializados resultou em uma separação entre produção vegetal e animal (RAY & SCHAFFER, 2005).

De acordo com Kirschenmann (2007), a agricultura industrial pós Revolução Verde apoiou-se sobre os enunciados de Liebig (1840) em sua publicação *Chemistry in its Application to Agriculture and Physiology*, na qual afirmou que o conceito de ciclagem de nutrientes a partir das fezes de animais em sistemas mistos poderia ser substituída pela utilização de fertilizantes sintéticos, o que facilitaria as práticas agrícolas. Resultado disto foi a especialização da produção de algumas commodities agrícolas de alto valor agregado e o abandono dos sistemas mistos, que integravam a produção animal e suas excretas a estas culturas (ENTZ et al., 2005). No entanto, esta intensificação da produção agrícola ocorreu a partir da ampla e descompromissada utilização de recursos não renováveis e da simplificação dos sistemas agrícolas, trazendo consigo crescentes impactos ambientais (TILMAN et al., 2002; LEMAIRE et al., 2014).

Como consequências da especialização e dos ganhos em produtividade obtidos com a simplificação aliada ao elevado uso de insumos, pode-se citar a contaminação dos cursos d'água e lençóis freáticos, concentrações crescentes de gases de efeito estufa atmosféricos, diminuição da qualidade dos solos e perda de biodiversidade (FRANZLUEBBERS et al., 2011). Segundo Lemaire et al. (2014), a ciência agrônômica precisa urgentemente superar a aparente contradição entre a necessidade de aumentar a produtividade dos sistemas agropecuários e, ao mesmo tempo, prevenir a degradação e promover a restauração do meio-ambiente.

De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2010), há uma necessidade de aumentar a produção de alimentos e fibras para suprir a demanda de uma população crescente que chegará a 9,2 bilhões de pessoas em 2050, aumento este que deverá ocorrer 90% através da intensificação ("maximização da produção primária por unidade de área") e apenas 10% a partir da expansão das áreas agrícolas. Por esta razão, a pegada ambiental dos sistemas agropecuários deverá ser reduzida, de forma que a intensificação destes sistemas ocorra de forma sustentável ("sem comprometer a capacidade do sistema em se manter produtivo"). A "intensificação sustentável", ou "intensificação ecológica", como também é chamada, tem em seu cerne o uso



de mecanismos biológicos capazes de substituir intervenções químicas e físicas ou interagir positivamente com elas, exercendo o mesmo papel, mas sem custos externos, sobretudo ambientais (DORÉ et al., 2011).

Para Tilman et al. (2002), o objetivo da agricultura sustentável é maximizar os benefícios advindos da agricultura na produção de alimentos e fibras e na promoção de serviços ecossistêmicos e saúde da população, o que será obtido com incrementos na produtividade das culturas agrícolas, maiores eficiências de utilização do nitrogênio, do fósforo e do uso da água, práticas de manejo ecológicas, uso racional de pesticidas e mudanças em alguns conceitos na produção pecuária. Nesse sentido, Kirschenmann (2007) enumerou oito princípios que os sistemas de produção deverão se basear: (i) conservação energética; (ii) diversidade biológica e genética; (iii) resiliência; (iv) profundo conhecimento técnico; (v) sinergismos biológicos; (vi) manejo adaptativo; (vii) utilização do conceito de restauração ecológica ao invés de extração ou preservação; e (viii) produtividades elevadas associadas à diversificação, sinergismos e uso limitado de área e nutrientes.

Dessa forma, a integração entre os componentes agrícola e pecuário tem retomado sua importância frente aos sistemas de produção especializados, devido à ineficiência dos atuais modelos agropecuários. A pecuária, por exemplo, não tem sido hábil em transformar os amplos espaços que ocupa em renda, e ainda tem sido responsabilizada por impactos ambientais, dentre os quais o aquecimento global. A agricultura, por sua vez, é marcada pelo alto risco operacional dos sistemas baseados na monocultura e pelos temores ambientais e econômicos trazidos por uma atividade que é essencialmente baseada na tecnologia de insumos, de baixa diversificação e, na maioria das vezes, descompromissada com a temática ambiental (MARTINS et al., 2015).

O atual conceito de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) vai além da simples rotação ou sucessão da lavoura com o gado. Trata-se de uma coexistência harmoniosa (MEDEIROS, 1978), apoiada sobre uma série de preceitos da agricultura conservacionista, que busca explorar sinergismos e propriedades emergentes provenientes da interface atmosfera-solo-planta-animal. Nestes sistemas, integração da pastagem com a lavoura é capaz de incrementar os serviços ambientais de ambas as atividades, uma vez que a agricultura conservacionista é potencializada pela diversidade e pelos fluxos de nutrientes únicos oriundos da presença do animal em pastejo, resultando na mimetização de ecossistemas naturais (MORAES et al., 2014).

Segundo Bell & Moore (2012), os sistemas integrados constituem-se em uma das mais importantes formas de uso da terra ao redor do mundo, ocupando cerca de 25 milhões de km<sup>2</sup>. Dentre os principais benefícios atribuídos aos SIPA estão: redução de custos e riscos das operações agrícolas; aumento da eficiência de uso da terra e do maquinário; menor uso de insumos; redução da incidência de plantas invasoras e patógenos; incremento da diversidade e da estabilidade econômica dos sistemas; mitigação de gases do efeito estufa; sequestro de carbono, além de proporcionarem maior produtividade e rentabilidade aos produtores (FRANZLUEBBERS, 2007; CARVALHO et al., 2010). Desse modo, os SIPA se enquadram perfeitamente no modelo de agroecossistema proposto por Doré et al. (2011) para a intensificação sustentável.

No Brasil, observa-se um forte crescimento na adoção dos SIPA, com enfoques distintos e particulares a cada região do país. Na região do Cerrado, centro-sul do país, o enfoque da integração esteve por muito tempo na rotação de culturas e na recuperação de solos e pastagens degradadas, enquanto no sul do Brasil o foco tem sido não somente a diversificação e a rotação de culturas, mas principalmente como alternativa de renda e utilização das áreas nos períodos entre as lavouras de verão (CARVALHO et al., 2005).

O subtropical brasileiro caracteriza-se por ser grande produtor de grãos, carne e leite, com utilização intensiva do solo. Esta região abrange cerca de 16 milhões de hectares cultivados com lavouras anuais de verão, tais como soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e arroz (*Oriza sativa*). Considerando-se as principais culturas anuais de inverno, incluindo trigo (*Triticum aestivum*), aveia (*Avena sativa*), cevada (*Hordeum vulgare*), triticale (X tritico-secale), canola (*Brassica napus* L. var. Oleífera) e centeio (*Secale cereale*), a superfície cultivada com lavouras de inverno é de aproximadamente 3 milhões de hectares, o que representa cerca de 1/5 do total das áreas cultivadas com anuais de verão (CONAB, 2015). Isto significa que cerca de 13 milhões de hectares apresentam potencial para utilização com SIPA, visto que grande parte destas terras permanece improdutiva ou subutilizada durante o período de inverno, em pousio ou destinadas unicamente a plantas para cobertura do solo e acúmulo de palha.

Não obstante, estes cultivos são compostos basicamente por aveia-preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), materiais forrageiros de excelente valor nutricional. Isso ocorre justamente em um período no qual o gado sofre com a escassez alimentar em sistemas baseados em pastagens naturais ou cultivadas de verão (CARVALHO et al., 2005). Nesse contexto, não há justificativas para tal situação, visto que as culturas de grãos poderiam estar se beneficiando da rotação ou sucessão com a pastagem, aumentando a eficiência do uso da terra e dos investimentos e garantindo estabilidade produtiva através da diversificação e da renda adicional gerados pela presença do animal no sistema (MORAES et al., 2014).

Sulc & Tracy (2007) enumeraram as principais barreiras à adoção dos SIPA na região do "Cinturão do Milho", nos Estados Unidos (USA Corn Belt): (i) tradição das monoculturas, que se tornou uma regra na atual geração de agricultores e empresas agrícolas; (ii) facilidade de manejo e a existência de programas governamentais que privilegiam a produção de grãos em larga escala sobre sistemas de produção mais complexos e diversificados; (iii) maior gerenciamento e trabalho requeridos em sistemas de produção diversificados e complexos; (iv) falta de entendimento e valorização, por parte de muitos produtores, com relação ao conceito de sistema, i.e., a performance dos componentes individuais de um sistema de produção é mais valorizada do que a performance do sistema como um todo; e (v) incentivos limitados para sistemas de produção diversificados e comprometidos com sustentabilidade ambiental.

No subtropical brasileiro, a principal barreira para a adoção dos SIPA ainda consiste nos supostos impactos negativos ocasionados pela presença dos animais em áreas de sucessão a lavouras de grãos sob manejo conservacionista do solo. De acordo com os conceitos da semeadura direta, o

pastejo é considerado prejudicial, pois os animais consomem materiais que serviriam de resíduo para cobertura do solo, restando quantidades de palha que seriam insuficientes para a proteção do solo e o acúmulo de matéria orgânica, o que reduziria a produtividade da cultura de grãos subsequente. Outro fator de resistência a ser enfrentado é o persistente paradigma da compactação dos solos pelo impacto do pisoteio dos animais, conhecido como “a lenda do casco”, que assombra os produtores com a idéia de que os efeitos deste pisoteio restringiriam o desenvolvimento de raízes das culturas de verão subsequentes, prejudicando a produtividade das mesmas (ANGHINONI et al., 2013; MARTINS et al., 2015).

Para Nicoloso et al., (2006), “a utilização das pastagens de inverno para pastoreio bovino pode limitar consideravelmente a quantidade de palha destinada à cobertura de solo, comprometendo a sustentabilidade da atividade agropecuária”, visto que a adição anual de palha ao solo no sistema de plantio direto (SPD) não deve ser menor que  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de matéria seca, segundo Lovato et al. (2004) e Nicoloso (2006). Nicoloso et al. (2008), trabalhando com pastoreio rotativo, afirmaram que o solo sob integração lavoura-pecuária teria potencial para ser um dreno de carbono atmosférico, mas somente quando adotado um intervalo de pastejo de 28 dias e evitando-se a monocultura da soja no verão.

No entanto, a pesquisa tem mostrado o contrário. Estudos recentes apontam que, em condições de semeadura direta sob pastejo moderado, os SIPA promovem melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (MORAES et al., 2014).

Assmann et al. (2014), em experimento de longa duração com diferentes intensidades de pastejo no sul do Brasil, obtiveram valores médios de resíduo de 1,40, 2,98, 4,74 e 5,80  $\text{Mg ha}^{-1}$  para as alturas de manejo do pasto de 10, 20, 30 e 40 cm, respectivamente, e 5,50  $\text{Mg ha}^{-1}$  em área sem pastejo após dez anos de sucessão entre pastagem de aveia-preta + azevém, no inverno, e soja, no verão, em um SIPA na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Kunrath et al. (2015), na mesma área experimental, observaram valores próximos de resíduo (1,08, 2,90, 4,52, 5,61 e 8,00  $\text{Mg ha}^{-1}$ ) para as mesmas alturas de manejo do pasto, respectivamente.

Aqueles autores verificaram que diferentes níveis de produção de resíduo (biomassa aérea e raízes) afetaram as adições de carbono e nitrogênio ao solo, de modo que intensidades de pastejo moderadas a leves (i.e., 20, 30 e 40 cm de altura do pasto) resultaram em incrementos no C orgânico total, C orgânico particulado, N total e N orgânico particulado similares ao controle sem pastejo. Em situação de pastejo intenso (i.e., 10 cm de altura do pasto), ocorreu perda de N do sistema da ordem de  $1,17 \text{ Mg ha}^{-1}$  devido à degradação da matéria orgânica do solo. Como resultado do menor resíduo depositado sobre a área, a adição de C no solo foi 30% menor quando comparada às demais intensidades de pastejo. Decréscimos nos estoques de C e N do solo em pastagens submetidas a elevadas intensidades de pastejo por longo prazo foram relatados por uma série de pesquisadores (CUI et al., 2005; HAN et al., 2008; STEFFENS et al., 2008; HE et al., 2011).

Em áreas excluídas ao pastejo, a massa de forragem acumulada acima do solo, no momento da semeadura da lavoura de verão, reflete o

acúmulo de biomassa aérea total que ocorreu no ciclo anterior. Esta lógica, aplicada nas áreas pastejadas, conduz ao erro de se achar que quanto maior a quantidade de animais em pastejo, menor a quantidade de biomassa acumulada no sistema. No entanto, em áreas pastejadas, há uma dinâmica bastante distinta daqueles locais onde há apenas cultura de cobertura, pois à medida que os animais estão consumindo pasto, novas folhas estão constantemente surgindo como resposta à desfolha. Com isso, a forragem acumulada no final do ciclo do pastejo não reflete o total de matéria seca que foi produzida no sistema (MARTINS et al., 2015).

Em locais onde o pasto é consumido de forma moderada, a produção total de forragem da parte aérea é igual ou superior as áreas sem pastejo. Na média de quinze anos, Martins et al. (2015) observaram que as áreas sem pastejo produziram  $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  enquanto, em áreas pastejadas com altura de manejo igual ou superior a 20 cm, esses valores foram de 5,6 a  $7,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ . O uso de lotações excessivamente altas ocasionou produção total de MS inferior ( $4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) às áreas sem pastejo, mas superior aos valores anteriormente citados (ASSMANN et al., 2014; KUNRATH et al., 2015), quando levado em consideração somente o resíduo da pastagem.

A palha depositada sobre o solo no SPD atua, também, no controle de plantas invasoras. Análise de cluster realizada por Kunrath et al. (2015) apresentou o tratamento 10 cm em um grupo isolado dos demais tratamentos (20, 30, 40 cm e Sem Pastejo), revelando diferenças na cobertura por plantas daninhas em áreas com elevada intensidade de pastejo, com maior incidência de espécies invasoras como a buva (*Coniza bonariensis*) e a corriola (*Ipomea nil*), sobretudo devido à reduzida área foliar condicionada pelas altas intensidades de pastejo daquele tratamento, apresentando inúmeros pontos de solo descoberto ao longo da área (MARTINS et al., 2015). A menor ocorrência de plantas invasoras na cultura da soja subsequente, em áreas manejadas no inverno com maior altura de pasto (40 cm) ou apenas cultura de cobertura (Sem Pastejo), foi consequência da maior quantidade de resíduo depositada sobre o solo, impedindo que a radiação solar incidisse diretamente sobre o solo, reduzindo assim a variação da temperatura do mesmo e inibindo a germinação do banco de sementes.

Moraes et al. (2014) demonstraram, a partir da compilação de 23 trabalhos conduzidos na região subtropical brasileira, que a produtividade de grãos é afetada positivamente nas lavouras em rotação ou sucessão com pastagens quando comparadas a áreas não pastejadas. Segundo estes autores, SIPA apresentam produtividade e sustentabilidade superiores aos controles sem pastejo devido à expressão de propriedades emergentes, fruto de maiores eficiência de uso dos nutrientes, diversidade microbiana, ciclagem de nutrientes, agregação do solo e sequestro de carbono, contribuindo também para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa.

Para Kunrath et al. (2015), o pastejo durante o inverno não afetou a produtividade da soja no verão subsequente, com valores médios de 3407 e  $3442 \text{ kg ha}^{-1}$  para áreas pastejadas e não pastejadas, respectivamente. No entanto, quando comparada a produtividade de grãos entre as áreas pastejadas, os autores verificaram menor número de grãos por área em situações de alta intensidade de pastejo (10 cm de altura média do pasto),

devido à redução do número de plantas de soja por área, reflexo do manejo da pastagem com elevada carga animal e menor acúmulo de resíduo sobre o solo.

Quando se considera a produção animal, a massa de forragem, altamente correlacionada com a altura do pasto, define o ganho de peso por animal e por área, uma vez que ela determina a ingestão e a seleção da forragem (CARVALHO et al., 2010). A utilização da pastagem pelo animal implica em promover a heterogeneidade do ambiente, seja pela distribuição de dejetos, que não é constante e uniforme, influenciando a concentração de nutrientes e a comunidade microbiana no solo (MCNAUGHTON, 1985; CHÁVEZ et al., 2011), ou pelo próprio pastejo, que é fruto da seleção da dieta pelo animal, conforme a disponibilidade de forragem à qual está submetido. Tais fatores transmitem, dia após dia, sua complexidade e heterogeneidade para a pastagem e para o solo, resultando em um sistema dinâmico e heterogêneo (SALTON & CARVALHO, 2007).

De acordo com Anghinoni et al. (2013), diversidade e complexidade são propriedades inerentes aos SIPA, e o grau de interações sinérgicas é dependente do quão complexo é o sistema com relação à diversificação, temporalidade e espacialização. Quanto maior a diversidade, incluindo aqui a diversidade de espécies e categorias animais, que geralmente é esquecida; quanto maior a escala de tempo com que os diferentes arranjos de integração se repetem; e quanto menor o espaço entre os componentes da integração, maior a possibilidade de ocorrência destes sinergismos. Isto significa que quanto mais diversos são os sistemas, mais se aproximam dos processos ecossistêmicos naturais, mimetizando seu funcionamento e equilíbrio (KIRSCHENMANN, 2007).

Desse modo, a avaliação dos impactos do pastejo no contexto dos SIPA tem sido tema de grande interesse no sul do Brasil. Dentre os inúmeros tópicos de pesquisa, permanece a definição da altura de manejo do pasto que garanta, ao mesmo tempo, elevados índices pecuários e cobertura de solo para a cultura subsequente, dentro dos preceitos do sistema plantio direto, conciliando produção e sustentabilidade ambiental (ANGHINONI et al., 2013).

#### **1.4.2 O animal como agente transformador do ambiente: o surgimento da heterogeneidade e suas implicações em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária**

A existência de heterogeneidade espacial em SIPA é bastante reconhecida. No entanto, a escala ou extensão na qual ela ocorre e como pode diferenciar-se nos diferentes ambientes é ainda pouco entendida, embora a variabilidade espacial da distribuição dos recursos tenha sido objeto de estudos nas últimas décadas (SALTON & CARVALHO, 2007). Uma certeza é que as consequências dessa diversidade são determinantes para os processos de produção animal, vegetal e, sobretudo, a sustentabilidade dos sistemas de produção (KIRSCHENMANN, 2007; CARVALHO et al., 2010).

Os herbívoros vertebrados são os principais agentes reguladores da estrutura e da composição dos ecossistemas pastoris do planeta, definindo o padrão espacial das comunidades vegetais ao longo do ambiente (Dumont et al., 2012). Este padrão espacial é determinado por “*feedbacks*” entre o animal pastejador e a qualidade das plantas à sua disposição (ADLER et al., 2001).

Devido à heterogeneidade espaço-temporal das pastagens, é comum que os pastajadores se deparem com situações de “*trade-off*” entre a quantidade e a qualidade da dieta que têm à sua disposição (MCNAUGHTON & GEORGIADIS, 1986). No entanto, a produção secundária depende de ambas, quantidade e qualidade, do material forrageiro disponível (HOBBS & SWIFT, 1985).

De acordo com Dumont et al. (2012), o principal responsável pelo padrão espacial em *patches* da vegetação é o pastejo seletivo, através do qual bovinos e ovinos criam e mantêm um mosaico de pastos mais baixos, superpastejados, e mais altos, pouco pastejados, que provavelmente irá governar o padrão de pastejo dos animais (BAKKER et al., 1984; GIBB & RIDOUT, 1986). É a partir do pastejo seletivo que os animais tendem a preferir os pastos mais baixos, em estágio vegetativo e compostos essencialmente por lâminas foliares de maior valor nutritivo (e.g., teor de proteína) a materiais mais altos, com maior participação de colmos e elevada presença de material senescente, nos quais as folhas estão menos acessíveis (BAKKER et al., 1984; LACA et al., 1994; CARVALHO et al., 2001), ou evitar áreas contaminadas por fezes e urina (WILLMS et al., 1988). A qualidade da forragem, de acordo com a preferência dos animais, faz com que eles permaneçam por mais ou menos tempo em determinado *patch* (DUMONT et al., 2012).

Salton & Carvalho (2007) consideraram “*patch*” (conforme traduzido por estes autores, mancha) uma área da pastagem que difere da circunvizinhança pelo padrão das plantas, seja em altura, densidade ou coloração, mas destacaram que este conceito pode ser extremamente dinâmico, citando exemplos: Bailey et al. (1996), em abordagem mais próxima do comportamento animal do que da estrutura da vegetação, definiram *patch* como uma agregação espacial de bocados nos quais há uma taxa de ingestão ou movimento relativamente constante; Wittenberger (1981) definiu como um grupo de recursos essencialmente homogêneos internamente, mas que diferem de maneira importante das áreas vizinhas; já para Kotliar & Wiens (1990), *patch* é uma área que contrasta de áreas adjacentes e tem limites definidos.

Segundo Willms et al. (1988), o pastejo em *patches* ocorre quando a oferta de forragem excede a demanda do rebanho e os animais têm a oportunidade de selecionar o que irão comer. Hobbs & Swift (1988) mostraram que a probabilidade disso acontecer é maior quanto maior for a produtividade do sistema, pois a repetição dos processos de pastejo e rebrote depende da capacidade deste sistema em possibilitar que o rebrote seja rápido o suficiente para possibilitar a mínima quantidade de forragem necessária para que o animal continue explorando um local previamente pastejado (Dumont et al., 2012), exercendo sua preferência pelas estruturas mais jovens, com maior concentração de nutrientes e digestibilidade (MCNAUGHTON, 1984; ILLIUS et al., 1987) sobre aquelas em estágio mais avançado de maturação. Como consequência, *patches* com diferentes qualidades e quantidades de biomassa coexistem em uma mesma área, o que, por sua vez, modula seu uso subsequente pelos animais. A proporção entre *patches* com diferentes graus de utilização varia de acordo com a estação, o sistema de pastoreio e a

intensidade de pastejo empregada, mesmo em pastagens cultivadas monoespecíficas (CID & BRIZUELA, 1998).

Para Carvalho et al. (2001), uma mesma massa de forragem pode ser obtida nas mais diferentes formas, tendo em vista que, para um mesmo intervalo de tempo, esta massa de forragem pode estar espacialmente disposta em uma forma infinita de combinações de altura e densidade volumétrica. O animal explora positivamente esta heterogeneidade, podendo ingerir uma dieta com qualidade superior à média que lhe é oferecida pela totalidade da pastagem, obtendo, conseqüentemente, diferentes níveis de produção animal para um mesmo valor de oferta de forragem.

Desse modo, manejando-se o pastejo temos o potencial de criar e manter estes diferentes padrões na vegetação. No entanto, para que possamos utilizá-lo como uma ferramenta, devemos ser capazes de prever quando o pastejo irá aumentar a heterogeneidade espacial da vegetação, em vez de diminuí-la (ADLER et al., 2001). Nesse sentido, segundo Barthram et al. (2005) e Dumont et al. (2012), a menor intensidade de pastejo condicionada por menores lotações animais possibilita ao dossel expressar sua máxima variabilidade, seja em termos de altura superficial ou biomassa do pasto, oportunizando ao animal exercer a seletividade na escolha de seu alimento e criando padrões espaciais mais estáveis (WILLMS et al., 1988; CID & BRIZUELA, 1998).

Apesar do exposto, a maioria das intervenções realizadas pelo homem tende à homogeneização dos ambientes, incluindo aqui as atividades de manejo dos animais que, na maioria das vezes, promove a uniformização do pastejo (ADLER et al., 2001) sob a equivocada óptica de que quanto mais homogênea é a colheita de forragem, maior a eficiência desta colheita. No entanto, Cid & Brizuela (1998) verificaram que, à medida que a densidade de animais aumentou, a percentagem da superfície ocupada por patches altamente pastejados também aumentou, até chegar em um valor máximo a partir do qual a seleção pelos animais limitou-se à rejeição de locais com presença de fezes. Nesta situação, na qual o animal limitou sua seletividade à presença ou ausência de fezes, o ganho de peso foi reduzido.

O impacto direto do pastejo sobre as propriedades da vegetação pode influenciar indiretamente a distribuição dos nutrientes e dos atributos físicos do solo (OLOFSSON et al., 2008). Zhao et al. (2007) e Ren et al. (2015), estudando os efeitos de diferentes intensidades de pastejo com ovinos sobre a biomassa de forragem e os atributos do solo nos estepes ao norte da China, concluíram que em áreas fortemente pastejadas, a vegetação apresentou distribuição uniforme ao longo dos poteiros, com reduzida biomassa. Isso se refletiu em uma distribuição espacial também homogênea das propriedades do solo, devido a fatores como a compactação, o reduzido aporte de matéria orgânica e a menor capacidade de armazenamento de água no solo. Estes resultados foram apontados como as principais fontes de vulnerabilidade do sistema, limitando o desenvolvimento sustentável da atividade pecuária naquela região.

Em contrapartida, nas áreas sob menores intensidades de pastejo, os autores supracitados encontraram maior heterogeneidade espacial da vegetação. Segundo os autores, este padrão heterogêneo de distribuição das

plantas se deve ao pastejo em *patches*, pois quando a disponibilidade de forragem é suficiente para que os herbívoros possam exercer a seletividade, eles tendem a lembrar dos locais onde obtiveram maiores benefícios, retornando regularmente. Após 6 anos de experimento, a estrutura heterogênea propiciou maior biodiversidade, acúmulo de biomassa e melhorias nos atributos físicos e químicos do solo, otimizando o funcionamento do ecossistema e acelerando a recuperação daquele ambiente após muitos anos sendo excessivamente pastejado (REN et al., 2015).

A heterogeneidade espacial da vegetação induzida pelo pastejo tem sido reconhecida como um componente crucial para o manejo sustentável dos ecossistemas, sejam eles baseados em pastagens naturais ou cultivadas. Devido à complexidade inerente a ambientes heterogêneos, bem como às importantes funções ecológicas dos mesmos, existe crescente interesse por parte da comunidade científica sobre os processos capazes de promover padrões espaciais mais complexos sobre os fatores bióticos e abióticos dos sistemas de produção (LIN et al., 2010). Em posse das respostas, o pastejo terá potencial de ser utilizado como uma importante ferramenta do manejo conservacionista na promoção de serviços ecossistêmicos (COLLINS et al. 1998) rumo à tão almejada intensificação sustentável.

Adler et al. (2001) destacaram a importância de definir claramente o termo “heterogeneidade espacial”, uma vez que a utilização de estatísticas não-espaciais (variância, desvio padrão, coeficiente de variação), muitas vezes utilizadas para demonstrar a heterogeneidade do pasto (GIBB & RIDOUT, 1988; MORRIS et al., 1999; CORRELL et al., 2003), apenas expressam a variabilidade existente naqueles ambientes, e não padrões espaciais contidos na vegetação (Barthram et al., 2005). Outra maneira de representar a variabilidade contida em uma pastagem é a utilização das distribuições ajustadas às observações de alturas do pasto, a partir das quais Gibb & Ridout (1986) e Gibb & Ridout (1988) observaram que a utilização da distribuição dupla-normal se ajustou melhor do que a distribuição normal às alturas medidas em pastos sob menores intensidades de pastejo, por representar com maior fidelidade a estrutura composta por áreas mais baixas, frequentemente pastejadas, e mais altas, menos frequentemente pastejadas, dentro de um dossel.

Para o estudo de padrões espaciais, é necessário utilizar medidas espaciais diretas, sem as quais restam apenas especulações acerca dos efeitos do pastejo sobre a heterogeneidade do ambiente. Por exemplo, a relação entre dois valores de uma determinada variável observada em diferentes locais do espaço (i.e., dependência espacial). Quando a dependência espacial entre as variáveis é forte, dado um determinado valor de uma variável, é possível fazer previsões a respeito do valor desta variável em outro local. Sem esta dependência, não se pode encontrar relações entre valores desta mesma variável no espaço, mesmo a distâncias pequenas. A existência de dependência espacial implica em não-aleatoriedade, ou padrão espacial, enquanto a independência espacial das amostras representa um padrão aleatório, ou ausência de padrão. É possível associar fortes dependências espaciais à heterogeneidade espacial e, da mesma forma, fracas ou inexistentes dependências espaciais a ambientes homogêneos. É



importante salientar que a definição de homogeneidade espacial corresponde à aleatoriedade espacial, e não a total uniformidade ou invariabilidade dos dados (ADLER et al., 2001).

A geoestatística é uma das ferramentas de análise mais utilizadas no estudo do padrão espacial dos atributos da vegetação e do solo em ecossistemas agropastoris. A distribuição espacial das variáveis de interesse (e.g., biomassa aérea, carbono orgânico do solo) podem ser exploradas através da análise de semivariância, a qual examina a variância entre medidas tomadas em distâncias crescentes para uma mesma variável, gerando informações úteis no que diz respeito à *escala de patchiness* (i.e., o quão estruturada em *patches* é a distribuição daquele atributo, seja ele uma variável da vegetação ou a concentração de determinado nutriente no solo) e ao grau de heterogeneidade da área em estudo (AUGUSTINE & FRANK, 2001; OLOFSSON et al., 2008; LIN et al., 2010).

Conforme foi visto, a heterogeneidade da vegetação e do solo podem afetar significativamente as funções ecológicas dos ecossistemas. No entanto, pouco ainda se sabe a respeito do impacto do pastejo sobre estes padrões espaciais, ainda que muito já se tenha mostrado que ele é capaz de criar, manter ou mesmo destruir estes padrões (LIN et al., 2010). Informações mais detalhadas sobre a distribuição espacial da vegetação são necessárias para entender as complexas interações entre as plantas, animais e padrões de pastejo (REN et al., 2015).

O desenvolvimento de técnicas que venham a melhor descrever o ambiente de pastejo é um grande desafio para o futuro (CARVALHO et al., 2001). Para Gregorini (2012), além da amostragem tridimensional da pastagem (STOBBS, 1975), uma quarta dimensão, relativa ao tempo, deveria ser considerada para compreendermos o comportamento dos animais em pastejo. Provenza et al. (2015) consideram que existe uma lacuna considerável a ser preenchida com informações sobre a dinâmica do pastejo e a heterogeneidade dos sistemas pastoris, incluindo pastagens cultivadas ou monoculturas. A incorporação de conhecimentos acerca da heterogeneidade espacial da vegetação e das estratégias de alimentação dos herbívoros nos modelos de interação planta-animal irão incrementar a nossa capacidade de relacionar, na prática, as características da vegetação ao consumo e, conseqüentemente, o desempenho animal (DISTEL et al., 1995).

#### **1.4.3 A heterogeneidade espacial da vegetação a favor da produção animal: condicionando uma estrutura de dossel que maximize a ingestão de forragem**

Os herbívoros são confrontados todos os dias com variações de escala espacial e temporal na quantidade e na qualidade da forragem a que dispõem (SENFT et al., 1987; MCNAUGHTON, 1988; O'CONNOR, 1994; TILMAN, 1994; WILMSHURST et al., 1999). O processo de pastejo e, conseqüentemente, o consumo de forragem, são afetados por componentes associados à arquitetura e à composição morfológica e botânica presentes no pasto, características que definem a estrutura do dossel (LACA & LEMAIRE, 2000).

Sendo assim, cabe ao animal elaborar estratégias de forrageamento que permitam otimizar sua taxa de ingestão de alimento nestes ambientes (e.g. *optimal foraging theory*; CHARNOV, 1976). Os herbívoros domésticos tomam decisões sobre onde irão pastejar, quais as combinações de alimentos irão comer e em qual sequência irão comê-los, de modo que o ajuste de suas decisões e movimentos acontece de acordo com a heterogeneidade espacial e temporal dos recursos disponíveis, resultando em refeições que variam em estrutura e composição química (PROVENZA et al., 2015).

Nos estágios mais jovens, a variação da qualidade nutricional em escala de planta é pequena, uma vez que plantas jovens são compostas majoritariamente por folhas, de uniforme qualidade. À medida que as plantas amadurecem, a proporção de componentes estruturais aumenta, enquanto algumas partes (e.g., folhas) permanecem com qualidade nutricional relativamente alta. Consequentemente, a variação nutricional dentro de uma planta aumenta com o incremento da biomassa, o que se reflete na comunidade vegetal. O pastejador, então, passa a ter à sua disposição um ambiente que o permite exercer sua seletividade na busca pelo alimento. Dessa forma, espera-se que a ingestão de energia por ruminantes em pastejo seja maior em pastos de biomassa intermediária, onde consigam otimizar o consumo de matéria seca e nutrientes digestíveis (e.g., *forage maturation hypothesis*; FRYXELL, 1991).

Altura de plantas e densidade de perfilhos são as variáveis de dossel mais importantes na determinação da taxa de ingestão em um *patch* alimentar (UNGAR et al., 1991; LACA et al., 1992). De acordo com Carvalho (1997), mesmo em situações onde a massa de forragem é igual pode haver diferenças no nível de ingestão, devido às inúmeras relações entre altura e densidade que possíveis de ser encontradas.

Sob esta ótica, o manejo do pasto se resume a construir estruturas que otimizem a colheita de forragem pelo animal em pastejo. Nesse sentido Carvalho et al. (2001), de maneira sagaz, compararam o manejador de uma pastagem ao *maître* de um restaurante. Segundo estes autores, um bom *maître* deve conhecer suficientemente os alimentos que oferece (espécies) e os propor em uma combinação e sequência (estrutura) adequada a cada cliente (espécie ou categoria animal).

Rocha et al. (2011) observaram incremento no ganho de peso vivo (PV) diário até aproximadamente 25 cm de altura do dossel em pastagem mista de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), com posterior decréscimo. Os valores de ganho de peso diário nas alturas de manejo de 10 e 20 cm foram de 0,96 e 1,2 kg PV animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Valores semelhantes foram relatados por Aguinaga et al. (2006), que obtiveram ganhos de 0,73 e 1,14 kg PV animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> em pastos manejados a 10 e 30 cm, respectivamente. O decréscimo no ganho de peso diário ocorrido a partir de 30 cm foi, provavelmente, decorrência de alterações negativas na estrutura do dossel e na qualidade do pasto (LOPES et al., 2008).

De acordo com Agreil et al. (2006), a estrutura do pasto determina a disposição das folhas e colmos e sua acessibilidade pelo animal, influenciando diretamente a taxa de ingestão. Por um lado, a altura baixa do pasto é um fator limitante à massa do bocado por afetar a profundidade do bocado (LACA et al.,

1992; GREGORINI et al., 2011). Por outro lado, pastagens mais altas limitam o consumo por imporem maior dificuldade à formação do bocado (GORDON & BENVENUTTI, 2006).

Wesp et al. (2016) também encontraram resposta quadrática para o ganho de peso médio diário (GMD) com o incremento da altura de manejo do pasto. Estes autores observaram aumento no desempenho individual dos animais até 33 cm de altura do dossel. O modelo obtido para o GMD explicou 92% da variação pela oferta de lâminas foliares, ressaltando a importância deste parâmetro em experimentos de pastejo.

Para Coleman & Sollenberger (2007), a produção secundária está diretamente relacionada à percentagem de folhas ofertadas aos animais. Stobbs (1975) sugeriu que, uma vez que a folha é o principal componente na dieta da maioria dos animais em pastejo e apresenta elevado valor nutricional, mais atenção deveria ser destinada à composição de folhas de um pasto do que à produção total de MS do mesmo. Segundo este autor, a produção animal poderia ser aumentada a partir da utilização de pastos ricos e densos em folhas, e por práticas de manejo que mantenham as pastagens o mais próximo possível do ótimo para a fácil desfolhação pelos herbívoros. Oportunizar ao animal em pastejo, ao longo do rebaixamento do pasto, selecionar as partes preferidas da planta (e.g., folhas verdes), de maior qualidade, deve resultar em maior conversão do alimento consumido em kg de produto animal (leite, carne ou lã), o que se traduz em eficiência de utilização do pasto (HODGSON, 1979). Nesse sentido, vários autores utilizaram a altura pré-pastejo do pasto como meta de manejo a ser estudada e suas implicações na estrutura do dossel e na taxa de ingestão de MS de ruminantes em pastejo, a fim de encontrar estruturas de pasto nas quais os animais pudessem maximizar suas taxas de ingestão.

Mezzalira et al. (2014), estudando o comportamento ingestivo de novilhas em aveia-preta e tifton 85 (*Cynodon sp. cv. 85*), avaliaram a taxa de ingestão dos animais em função da estrutura do pasto em diferentes alturas pré-pastejo. Os autores encontraram as maiores taxas de ingestão na aveia pastejada aos 30 cm de altura e no tifton pastejado aos 20 cm de altura. Em outro estudo dessa natureza, Amaral et al. (2012) avaliou o comportamento ingestivo de vacas leiteiras em pastoreio rotativo com quatro combinações de alturas pré e pós-pastejo (15-5, 15-10, 25-5 e 25-10 cm) em azevém anual. Os autores concluíram que o tratamento 15-10 cm (alturas reais de 17,3-10,7 cm pré e pós-pastejo, respectivamente) resultou na melhor combinação entre produção de pasto e taxa de ingestão de forragem. No entanto, em se considerando somente a massa de bocado e a ingestão a curto prazo, o tratamento 25-10 apresentou os maiores valores.

Da Silva (2013), trabalhando em um SIPA no sul do Brasil, avaliou a taxa de ingestão de ovelhas em azevém anual sob diferentes alturas pré-pastejo e dois métodos de estabelecimento da pastagem (semeadura direta na palha e preparo convencional do solo). A taxa de ingestão não foi afetada pelo método de estabelecimento do pasto, e a meta de manejo pré-pastejo sugerida foi a altura de 18,5 cm. Esta foi apontada como a altura ótima para a maximização da taxa de ingestão, que pode ser considerada tanto para

pastoreio rotativo quanto para pastoreio contínuo, neste caso expressa em termos de altura média da vegetação.

O manejo das pastagens em SIPA, fazendo uso do controle da intensidade de pastejo como ferramenta, deve vislumbrar a construção de uma estrutura de vegetação que consiga otimizar a colheita de forragem pelos animais (WESP et al., 2016). Neste contexto, o manejo do pasto fundamentado no comportamento ingestivo dos animais, que proporciona maior consumo e desempenho individual, deveria ser considerado (CARVALHO et al., 2013).

**2 CAPÍTULO II**  
**COMO A INTENSIDADE DE PASTEJO DETERMINA A HETEROGENEIDADE**  
**ESPACIAL DA VEGETAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES EM UM SISTEMA**  
**INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Artigo elaborado conforme as normas da revista Agriculture, Ecosystems & Environment (Apêndice 1).

## **Como a intensidade de pastejo determina a heterogeneidade espacial da vegetação e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária**

### **Resumo**

A heterogeneidade espacial induzida pelo pastejo tem sido reconhecida como um componente crucial para o manejo sustentável dos ecossistemas. Ainda assim, a maioria das intervenções realizadas pelo homem tende à homogeneização dos ambientes, inclusive no manejo dos animais. Neste estudo, foi investigado o efeito da intensidade de pastejo sobre a heterogeneidade espacial da vegetação e a criação de uma estrutura ótima para a maximização da taxa de ingestão dos animais, e suas implicações em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA). O experimento foi conduzido durante o inverno de 2015, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em um protocolo experimental de longo prazo iniciado em 2001. Os tratamentos foram arranjados em um delineamento de blocos completamente casualizados com três repetições e consistiram em diferentes intensidades de pastejo por bovinos em pasto misto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.): pastejo intenso (P10), pastejo moderado (P20), pastejo moderado-leve (P30), pastejo leve (P40) e ausência de pastejo (SP). A heterogeneidade espacial da vegetação aumentou com a diminuição da intensidade de pastejo. Maior heterogeneidade e estruturação espacial foram identificadas com o avanço do período vegetativo do pasto na presença de animais em pastejo. O início do florescimento ocasionou uma diminuição na dependência espacial e um incremento na heterogeneidade

abaixo da escala de observação. P10 apresentou dossel homogêneo espacialmente ao longo de todo o ciclo de pastejo, composto em sua maior parte por uma vegetação excessivamente pastejada (<10 cm). P20 apresentou maior participação de alturas ótimas para a maximização da taxa de ingestão (15 a 29,99 cm) ao longo do ciclo de pastejo. Com o aumento da intensidade de pastejo, aumentaram também a carga animal (CA,  $P < 0,05$ ) e o ganho de peso vivo por área (GPV,  $P < 0,05$ ). A intensidade de pastejo moderada (P20) apresentou maior ganho médio diário (GMD,  $P < 0,05$ ) quando comparada ao pastejo intenso (P10), não diferindo, no entanto, de P30 e P40. Sendo assim, a utilização de intensidades de pastejo moderadas constitui na melhor alternativa para conciliar produtividade animal e conservação ambiental em SIPA.

**Palavras-chave:** altura do pasto, agricultura conservacionista, bovinos, intensificação sustentável, produção animal, sistemas mistos

## 2.1 Introdução

Os herbívoros vertebrados são os principais agentes reguladores da estrutura e da composição dos ecossistemas pastoris do planeta, definindo o padrão espacial das comunidades vegetais ao longo dos ambientes (Dumont et al., 2012). Devido à heterogeneidade espaço-temporal das pastagens, é comum que os animais se deparem com situações de troca entre a quantidade e a qualidade da dieta que têm à sua disposição (McNaughton and Georgiadis, 1986). No entanto, a produção secundária depende de ambas (Hobbs and Swift, 1985).

A heterogeneidade espacial da vegetação induzida pelo pastejo tem sido

reconhecida como um componente crucial para o manejo sustentável dos ecossistemas, sejam eles baseados em pastagens naturais ou cultivadas (Lin et al., 2010). Ainda assim, a maioria das intervenções realizadas pelo homem tende à homogeneização dos ambientes, incluindo o manejo dos animais, que na maioria das vezes promove a uniformização do pastejo (Adler et al., 2001) sob a equivocada óptica de que quanto mais homogênea é a colheita de pasto, maior a eficiência desta colheita. Consequência disso é a ocorrência de extensas áreas altamente pastejadas, que acabam limitando a seletividade e o desempenho dos animais (Cid and Brizuela, 1998).

Para Anghinoni et al. (2013), esta tendência ocorre devido à complexidade inerente a ambientes mais heterogêneos, a despeito das importantes funções ecológicas dos mesmos, decorrentes de sinergismos entre os compartimentos solo-planta-animal. Dessa forma, sistemas mais complexos tendem a se aproximar do funcionamento e do equilíbrio dos ecossistemas naturais (Kirschenmann, 2007).

A existência de heterogeneidade decorrente da presença de animais em SIPA é bastante reconhecida (Salton and Carvalho, 2007). No entanto, pouco ainda se sabe a respeito do impacto do pastejo sobre os padrões espaciais da vegetação, ainda que muito já se tenha mostrado que ele é capaz de criar, manter ou mesmo destruí-los (Lin et al., 2010), de modo que informações mais detalhadas são necessárias para entender as complexas interações entre as plantas e os animais (Ren et al., 2015).

O manejo das pastagens em SIPA fazendo uso da intensidade de pastejo como ferramenta deve vislumbrar a construção de uma estrutura de



vegetação que consiga otimizar a colheita de forragem pelos animais (Wesp et al., 2016), pois a estrutura do pasto determina a disposição das folhas e colmos e conseqüentemente sua acessibilidade, influenciando diretamente a taxa de ingestão dos mesmos (Agreil et al., 2006). Segundo Stobbs (1975), a produção animal pode ser aumentada a partir da utilização de pastos ricos e densos em folhas, e por práticas de manejo que mantenham as pastagens o mais próximo possível do ótimo para a fácil desfolhação pelos herbívoros.

Segundo Provenza et al. (2015), existe uma lacuna considerável a ser preenchida com informações sobre a dinâmica do pastejo e a heterogeneidade dos sistemas pastoris, incluindo pastagens cultivadas ou monoculturas. A incorporação de conhecimentos acerca da heterogeneidade espacial da vegetação e das estratégias de alimentação dos herbívoros nos modelos de interação planta-animal irão incrementar a nossa capacidade de relacionar, na prática, as características da vegetação ao consumo e, conseqüentemente, o desempenho animal (Distel et al., 1995). Em posse das respostas, o pastejo terá potencial de ser utilizado como uma importante ferramenta do manejo conservacionista na promoção de serviços ecossistêmicos (Collins et al., 1998) rumo à intensificação sustentável dos sistemas de produção.

Neste trabalho, foi investigado o efeito de diferentes intensidades de pastejo por bovinos sobre a heterogeneidade espacial da vegetação e suas possíveis implicações em um SIPA no sul do Brasil. Os objetivos deste estudo foram (1) verificar como a intensidade de pastejo determina diferentes níveis de heterogeneidade na vegetação e suas implicações em um SIPA e (2) determinar a intensidade de pastejo que, em regime de pastoreio contínuo,

condiciona uma estrutura de vegetação com maior participação de alturas ótimas previamente definidas para a maximização da taxa de ingestão em pastos mistos de azevém anual e aveia-preta ao longo do ciclo de pastejo.

## **2.2 Material e Métodos**

### *2.2.1 Área de estudo e delineamento experimental*

O experimento foi conduzido na Fazenda do Espinilho, pertencente à Agropecuária Cerro Coroado, localizada no município de São Miguel das Missões, região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil (latitude 28°94'S e longitude 54°35"O). Este trabalho é parte de um protocolo experimental de longo prazo com SIPA em semeadura direta iniciado em 2001. Durante o verão, as parcelas são semeadas com soja (*Glycine max* (L.) Merr.), e no inverno com pastos mistos de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.). O solo do local é classificado como um Latossolo Vermelho Distroférico típico (Embrapa, 1999), com teores de argila, silte e areia de 540, 270 e 190 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. O clima é subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19 °C e a precipitação anual de 1850 mm (Martins et al., 2016).

Os tratamentos consistiram em diferentes intensidades de pastejo por bovinos de corte em regime de pastoreio contínuo: pastejo intenso (P10 – 10 cm de altura média do pasto), pastejo moderado (P20 – 20 cm de altura média do pasto), pastejo moderado-leve (P30 – 30 cm de altura média do pasto), pastejo leve (P40 – 40 cm de altura média do pasto) e sem pastejo (SP –

controle). Foi utilizado o delineamento em blocos completamente casualizados com três repetições, resultando em 12 unidades experimentais (UE) com dimensões que variaram de 0,8 a 3,6 ha, mais duas faixas sem pastejo, ocupando uma área total de 22 ha. Os dados apresentados neste estudo foram coletados durante o ciclo de pastejo em 2015, que iniciou com a alocação dos animais no experimento quando o pasto atingiu 25 cm de altura média, no dia 9 de junho, e foi finalizado no dia 30 de outubro de 2015 com saída dos animais da área experimental, totalizando 143 dias de pastejo.

### 2.2.2 *Condução e amostragem da vegetação*

As alturas de manejo do pasto foram monitoradas periodicamente a partir da técnica do bastão graduado (*sward stick*, Barthram, 1985) no intuito de mantê-las o mais próximas possíveis das metas de manejo pré-estabelecidas. Para o estudo da heterogeneidade espacial da vegetação, as aferições de altura foram georreferenciadas com aparelhos GPS portáteis (Garmin e-Trex vista HCx) a fim de formar uma malha de pontos de aproximadamente 10 m x 10 m ao longo de todas as UE. Estes registros foram realizados nos dias 07/06 (antes da entrada dos animais no experimento), 09/07, 30/07, 16/08, 06/09, 23/09 e 12/10/2015 (salienta-se a ausência da última observação em SP, devido ao avançado estado de acamamento do dossel naquela ocasião).

As alturas registradas foram classificadas em nove intervalos (0 a 4,99 cm, 5 a 9,99 cm, 10 a 14,99 cm, 15 a 19,99 cm, 20 a 24,99 cm, 25 a 29,99 cm, 30 a 34,99 cm, 35 a 39,99 cm e >40 cm) para o estudo do efeito da intensidade de pastejo sobre a participação destas alturas na composição do dossel ao

longo do período de pastejo. Estabeleceu-se o intervalo de alturas entre 15 e 29,99 cm como intervalo ótimo para a maximização da ingestão de MS neste experimento, a partir de estudos recentes que demonstraram que o azevém anual aos 18,5 cm (Da Silva, 2013) e a aveia-preta aos 30 cm de altura (Mezzalira et al., 2014) maximizam a taxa de ingestão dos animais em pastejo.

A massa de forragem (MF, kg MS ha<sup>-1</sup>) foi registrada a cada 30 dias aproximadamente (subperíodo), a partir de cinco cortes rentes ao solo por UE, em área delimitada por uma moldura metálica de 50 x 50 cm (0,25 m<sup>2</sup>). Estas amostras de pasto foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas e então pesadas. A MF de todo o ciclo de pastejo foi obtida pela média das MF de cada subperíodo. A taxa de acúmulo de matéria seca (TxAc, kg MS ha<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>) foi avaliada juntamente com a MF, com três gaiolas de exclusão ao pastejo por UE (Klingman et al., 1943). A diferença entre a massa dos cortes no início e no fim de cada subperíodo, dividida pelo número de dias entre os cortes, determinou a TxAc de cada subperíodo. A TxAc média de todo o ciclo de pastejo foi obtida pela média das TxAc de cada subperíodo. A produção total de MS (PTMS, kg MS ha<sup>-1</sup>) foi calculada pelo somatório da MF inicial com a TxAc de cada subperíodo. Ao final do ciclo de pastejo, foi determinado o resíduo (kg MS ha<sup>-1</sup>) depositado sobre o solo, seguindo a mesma metodologia das avaliações de MF.

### 2.2.3 Manejo e desempenho dos animais

Cada UE recebeu três animais *testers* (animais que permaneceram ao longo de todo o período experimental e sobre os quais foram calculadas as

variáveis de desempenho individual) e um número variável de animais reguladores periodicamente ajustado para a manutenção dos tratamentos (método “*put-and-take*”, Mott and Lucas, 1952). Os animais experimentais consistiram em bovinos provenientes do cruzamento entre as raças Angus x Hereford x Nelore, com peso inicial de  $218,65 \pm 29$  kg PV e aproximadamente 12 meses de idade.

Os animais foram pesados em dois momentos, antes e depois do ciclo de pastejo, obedecendo jejum de sólidos e líquidos por 12 horas antes de cada pesagem. A carga animal (CA, kg PV ha<sup>-1</sup>) foi calculada a partir da soma do peso médio dos animais *testers* e dos animais reguladores multiplicado pelo número de dias que os animais permaneceram no experimento. O ganho médio diário (GMD, kg PV animal<sup>-1</sup>dia<sup>-1</sup>) foi obtido pela diferença entre o peso final e o peso inicial dos animais *testers*, dividido pelo número de dias de pastejo. O ganho de peso por área (GPV, kg PV ha<sup>-1</sup>) foi obtido pelo somatório do ganho de peso dos animais *testers* e reguladores em cada UE, dividido pela área desta UE.

#### 2.2.4 *Análise Estatística*

A heterogeneidade espacial da vegetação foi investigada em cada UE a partir da análise de semivariâncias no software Gamma Design (GS+ versão 10), as quais foram posteriormente analisadas em conjunto para cada intensidade de pastejo, considerando-se distâncias máximas de 150 metros a fim de respeitar um número mínimo de 30 pares para a confiabilidade dos semivariogramas. Os semivariogramas são ferramentas versáteis e imparciais

para o estudo da autocorrelação em dados ambientais (Robertson and Gross, 1994), obtidos a partir da Equação (1):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

onde  $N(h)$  é o número de pares de valores separados pela distância  $h$ , e  $z(x_i + h)$  é o valor observado em um local a uma distância  $h$  a partir de  $x_i$ .

A autocorrelação espacial é um princípio da geoestatística segundo o qual pontos próximos tendem a ser mais parecidos do que pontos distantes entre si (Gustafson, 1998). A existência de dependência espacial (i.e., semivariâncias crescentes até atingirem um patamar a partir do qual não há mais relação espacial entre os pontos, representando a máxima variância naquele contexto, a partir de uma distância  $x$ , chamada de alcance) implica na existência de estruturação espacial, ou padrão espacial. À medida que o eixo  $x$  tende a zero, aproxima-se de um valor no eixo  $y$  chamado *efeito pepita*, que é o valor da semivariância para a distância zero, e na prática representa o componente da variabilidade espacial que está abaixo da menor distância entre amostras. Para a elaboração dos mapas de altura da vegetação, a ferramenta de *krigagem* do software Surfer 8 (Golden Software, LLC) utilizou o modelo teórico melhor ajustado para cada potreiro para a realização da interpolação.

Para percentual de participação dos intervalos de altura no dossel, foi realizada análise de variância utilizando-se um modelo linear generalizado misto para dados com distribuição log-normal. A escolha do modelo melhor ajustado aos dados ocorreu pela comparação do critério AIC (Akaike, 1974).

No modelo foram considerados os efeitos de bloco, tratamento, intervalo de alturas e interação entre tratamento e intervalo de alturas. As análises foram realizadas separadamente para cada data de avaliação, com objetivo de avaliar a evolução temporal dos percentuais de alturas para cada tratamento e para cada intervalo. Os dados de produção vegetal e animal foram submetidos à análise de variância e, quando observado efeito significativo em nível de 5% ( $P < 0,05$ ), as médias foram comparadas pelo teste Tukey no software estatístico JMP (versão 12, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Produção de forragem

A produção de pasto variou em função dos tratamentos (Tabela 1). As alturas reais de manejo do pasto (AR) foram muito próximas às metas de manejo pré-estabelecidas (10, 20, 30 e 40 cm,  $P < 0,05$ ). A MF acompanhou o comportamento da altura do pasto, e foi maior quanto menor a intensidade de pastejo utilizada ( $P < 0,05$ ).

Tabela 1 Características produtivas do pasto de azevém anual e aveia-preta sob diferentes intensidades de pastejo (P10, pastejo intenso; P20, pastejo moderado; P30, pastejo moderado-leve, P40, pastejo leve; SP, sem pastejo) por bovinos de corte.

Variáveis	Tratamento					EPM	P
	P10	P20	P30	P40	SP		
AR	11,94e	20,46d	28,64c	35,07b	45,93a	0,35	<,0001
MF	1105,91e	1799,40d	2422,45c	2910,79b	3601,00a	21,56	<,0001
TxAc	34,38b	52,24a	50,88ab	41,00ab	5,02c	1,59	0,0004
PTMS	5988,41	8634,44	8419,57	7248,69	5753,2	296,32	0,0599
Resíduo	1692,06c	4259,48bc	5323,53abc	6754,00ab	9284,52a	344,78	0,0032

AR, altura real média do pasto (cm); MF, massa de forragem média do período ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ); TxAc, taxa de acúmulo média do período ( $\text{kg MS ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$ ); PTMS, produção total de matéria seca ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ); Resíduo, resíduo sobre o solo ao final do ciclo de pastejo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); EPM, erro padrão da média; P, probabilidade.

Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

O tratamento P20 apresentou maior TxAc ao longo do período estudado, não diferindo de P30 e P40 ( $P < 0,05$ ). Conseqüentemente, embora sem significância estatística ( $P > 0,05$ ), o pastejo conduzido sob estas intensidades resultou em PTMS cerca de 30% superior às situações de pastejo intenso (P10) ou ausência de pastejo (SP). Quanto maior a intensidade de pastejo, menor foi a quantidade de resíduo depositado sobre o solo após a saída dos animais ( $P < 0,05$ ).

Observou-se um incremento na variabilidade das medições de altura da maior para a menor intensidade de pastejo, acompanhando o comportamento da AR (Figura 1). Todos os tratamentos apresentaram menor variabilidade em junho. Esta variabilidade aumentou na presença do pastejo até o fim do mês de julho, passando por uma diminuição até o final do período de pastejo. P10 e P20 apresentaram novo aumento na última observação.

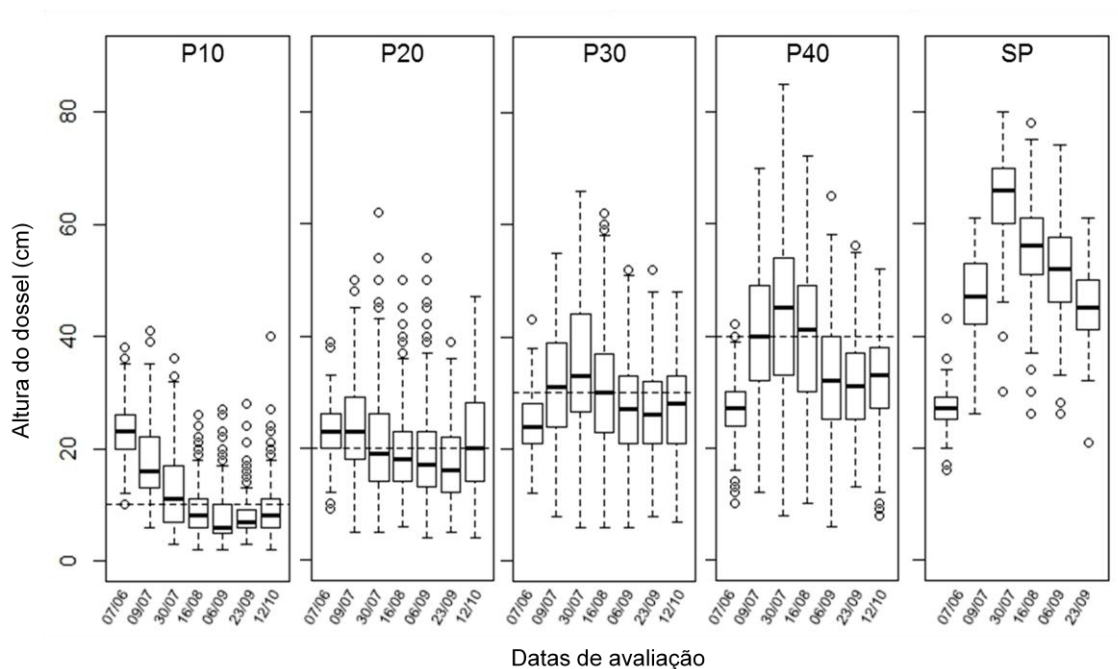


Figura 1 Dispersão das observações de altura do dossel em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta sob diferentes intensidades de pastejo ao longo do tempo (a linha horizontal tracejada representa as metas de manejo nos respectivos tratamentos, i.e., 10, 20, 30 e 40 cm).



### 2.3.2 Semivariogramas de distribuição das alturas do pasto

Os semivariogramas experimentais mostram a evolução do comportamento espacial da vegetação nas diferentes intensidades de pastejo no decorrer do ciclo (Figura 2). Antes da entrada dos animais na pastagem (Figuras 2a e 3a), os tratamentos apresentaram semivariâncias muito próximas entre si, com pouca estruturação espacial e em maior parte explicadas pelo *efeito pepita* (variabilidade intrínseca ou de pequena escala, não captada pela distância amostral). A partir da entrada dos animais, os gráficos apresentaram semivariâncias crescentes, com maior expressão nas menores intensidades de pastejo, até o final de julho (Figura 2c e 3b), quando atingiram valores máximos em todos os tratamentos, bem como maior estruturação espacial, sobretudo nas menores intensidades de pastejo.

Em agosto (Figura 2d), observou-se no semivariograma uma perfeita separação entre os tratamentos, com intervalos praticamente constantes entre as semivariâncias dos tratamentos P10, P20, P30 e P40, respectivamente, e pouca ou nenhuma estruturação espacial, sendo a maior parte da semivariância explicada pelo efeito pepita. O tratamento SP manteve valores intermediários a P20 e P30 e apresentou comportamento aleatório. A partir do início de setembro (Figura 2e), os semivariogramas apresentaram comportamento distinto, com uma redução das semivariâncias nas menores intensidades de pastejo, finalizando-se o ciclo de pastejo com duas situações bastante distintas entre P10, com semivariâncias inferiores, e os demais tratamentos (Figuras 2g e 3c).

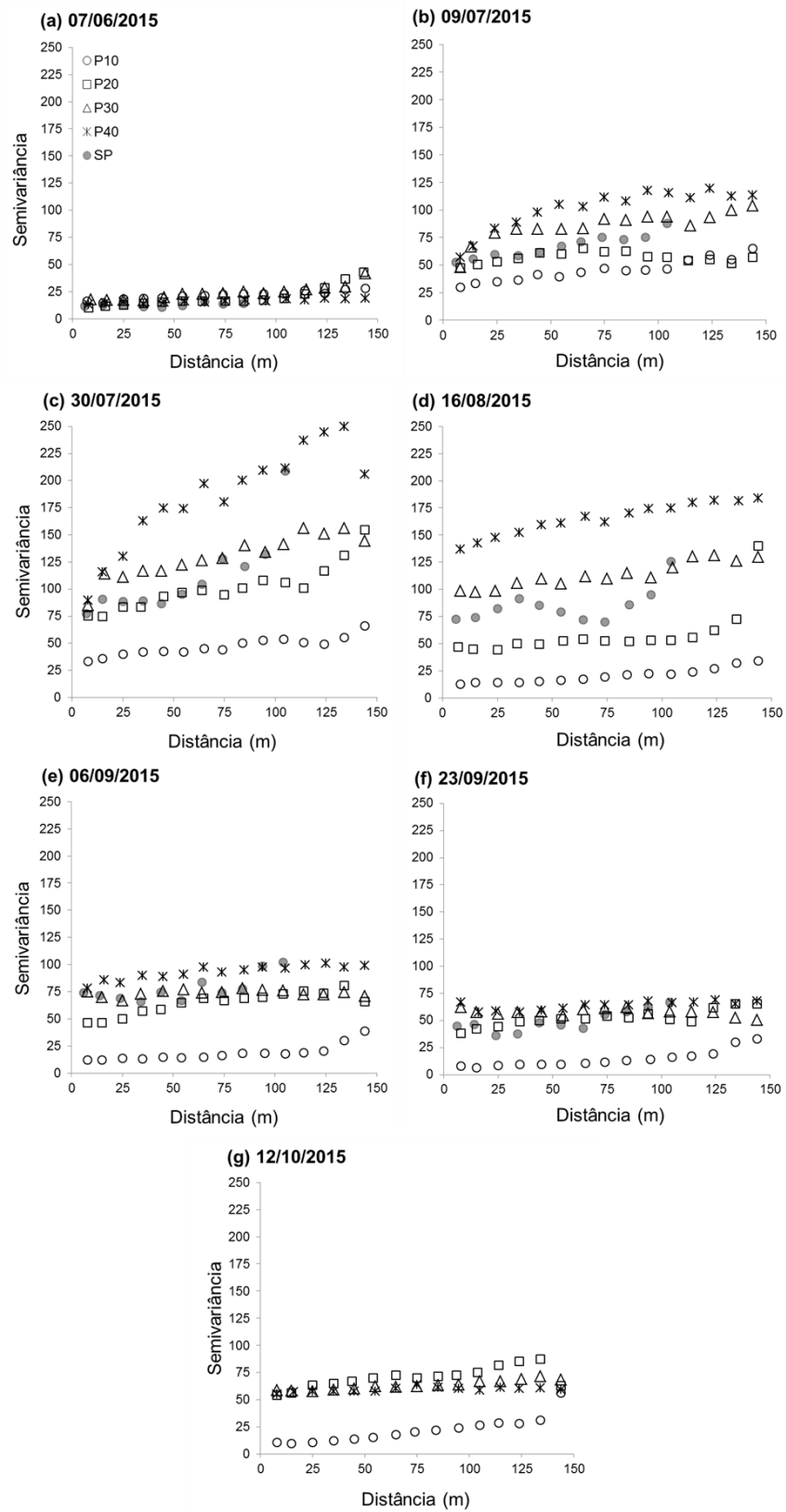


Figura 2 Semivariogramas experimentais de distribuição das alturas da vegetação em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta ao longo do tempo sob diferentes intensidades de pastejo por bovinos.

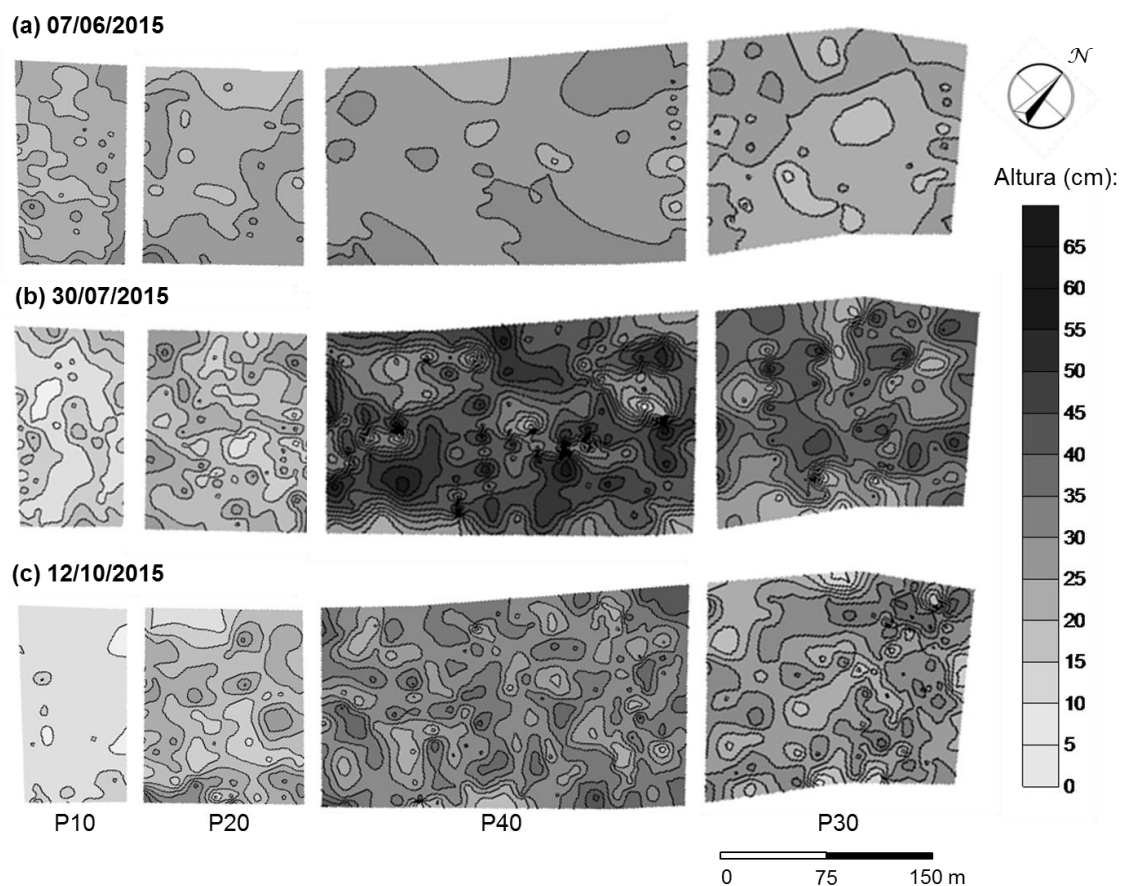


Figura 3 Mapas originados por krigagem ordinária das alturas da vegetação (cm) em poteiros com diferentes intensidades de pastejo por bovinos sobre pastos mistos de azevém anual e aveia-preta (a) antes da entrada dos animais, (b) quando atingiram máxima heterogeneidade e estruturação espacial e (c) na última data de avaliação.

### 2.3.3 Composição de alturas do dossel

As intensidades de pastejo estudadas condicionaram diferentes estruturas de vegetação. As medições de altura do dossel classificadas em intervalos de altura do pasto constam na Tabela 2, a fim de permitir a visualização dos diferentes arranjos em que o pasto esteve disponível aos animais no decorrer do ciclo de pastejo. Antes da entrada dos animais na pastagem, a altura do dossel situava-se, em sua maior parte, entre 15 e 29,99 cm ( $P < 0,05$ ), sem diferenças significativas entre os tratamentos ( $P > 0,05$ ).

Na situação de pastejo intenso (P10), ocorreu maior participação dos estratos inferiores da vegetação, diferindo este tratamento dos demais para

alturas abaixo de 10 cm já a partir do início do mês de julho ( $P < 0,05$ ). No mês de agosto, P10 contabilizava 65% do dossel abaixo de 10 cm de altura, valor este que, em setembro, transformou-se em quase 80%. Conseqüentemente, a partir de agosto P10 apresentou menor participação de estratos superiores a 25 cm, praticamente sem participação acima desta altura ( $P < 0,05$ ).

Tabela 2 Participação (%) de diferentes intervalos de altura da vegetação na composição do dossel em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta ao longo do tempo, sob diferentes intensidades de pastejo (P10, pastejo intenso; P20, pastejo moderado; P30, pastejo moderado-leve, P40, pastejo leve; SP, sem pastejo) por bovinos.

Trat.	Intervalos de altura do pasto (cm)								
	0a4,99	5a9,99	10a14,99	15a19,99	20a24,99	25a29,99	30a34,99	35a39,99	≥40
<b>07/06<sup>1</sup></b>									
P10	0d	0d	2,5bc	18,1a	39,2a	31,3aAB	7,4b	1,4cd	0d
P20	0d	0,3d	3,7cd	20,3abc	41,3a	29,0abAB	4,7bcd	0,7d	0d
P30	0b	0b	1,7b	12,7a	36,5a	33,2aAB	14,3a	1,2b	0,4b
P40	0d	0d	0,9cd	3,6bcd	18,5abc	41,1aA	28,5ab	5,3abcd	2,0cd
SP	0b	0b	2,0b	21,0ab	58,0a	16,0abB	2,00b	1,0b	0b
<b>09/07<sup>1</sup></b>									
P10	0d	10,1bA	27,9aA	26,4aA	21,1abA	10,8ab	2,6cB	0,8cdC	0,4dC
P20	0c	1,9cbB	11,6abAB	18,7aA	24,7aA	19,8a	11,2abA	7,1abB	4,9abcBC
P30	0c	0,6cBC	2,8bcBC	6,3abB	15,7aA	15,5a	18,3aA	18,1aA	22,8aAB
P40	0e	0eC	1,2deC	3,5cdB	6,0bcB	7,9bc	10,9bcA	14,9bAB	55,5aA
SP	0c	0cC	0cC	0cC	2,9bcB	8,6b	10,6bA	15,4abAB	62,5aA
<b>30/07<sup>1</sup></b>									
P10	3,4bcA	36,2aA	28,7aA	12,5abAB	12,5abA	4,2bc	2,1cBC	0,4cC	0cB
P20	0cB	7,8abB	21,3aA	23,5aA	17,5abA	13,7ab	5,4abAB	5,5abAB	5,4bcB
P30	0cB	0,5cC	0,7cB	7,8bAB	11,5abAB	15,6ab	17,5abA	12,7abA	33,6aA
P40	0eB	0,2eC	0,8deB	3,4cdBC	4,5bcB	7,7bc	9,5bcA	11,7bA	62,1aA
SP	0bB	0bC	0bB	0bC	0bC	1,7b	0bC	1,8bBC	96,5aA
<b>16/08<sup>1</sup></b>									
P10	9,6bcA	55,1aA	23,3abA	9,0bcABC	2,7cdB	0,3dC	0dC	0dC	0dC
P20	0eB	7,2bcdB	22,9abA	29,7aA	20,9abA	10,5abcA	5,5cdB	1,9deB	1,3eC
P30	0cB	1,7bC	2,8bB	10,9aAB	14,7aAB	16,8aA	21,0aA	12,2aA	19,8aB
P40	0cB	0cD	3,4bcB	4,5bBC	6,0bAB	9,5bA	9,1bAB	12,5bA	54,9aAB
SP	0cB	0cD	0cB	0cC	1,1bcB	2,2bcB	1,1bcC	6,6bAB	89,0aA
<b>06/09<sup>1</sup></b>									
P10	18,7bA	55,5aA	19,9bA	4,1cAB	1,2cdB	0,6dB	0dC	0dB	0dC
P20	0,2dB	10,8abcB	26,6aA	24,3aA	19,3abA	9,0abcA	5,1bcdB	2,6cdAB	2,1cdBC
P30	0cB	1,1bcC	4,8abcB	12,0abA	18,8aA	19,8aA	20,9aA	6,7abcAB	15,8aAB
P40	0dB	0,3dC	2,0cdBC	6,0bcAB	14,6abA	15,3abA	18,5abAB	16,7abA	26,6aA
SP	0dB	0dC	0dC	0dB	2,0bcdB	0,9cdB	5,6bcAB	7,9bAB	83,6aA

**23/09<sup>1</sup>**

P10	6,0bcA	73,2aA	16,0bA	3,5cdAB	0,9dB	0,4dB	0dB	0dB	0dC
P20	0bB	16,2aB	24,6abA	24,4aA	16,2aA	10,8aA	6,3abAB	1,4bB	0bC
P30	0eB	0,7deC	3,6cdB	11,9abAB	23,6aA	24,4aA	19,4abA	8,8abcA	7,6bcB
P40	0dB	0dC	1,4cdBC	4,6bcAB	18,4abA	21,3aA	20,0abA	15,6abA	18,6abAB
SP	0bB	0bC	0bC	1,0bB	0bB	2,2bB	15,1aA	30,2aA	51,5aA

**12/10<sup>1</sup>**

P10	4,7cdA	63,2aA	23,0abA	6,1bc	2,5cdB	0,3dB	0dB	0dC	0,3dC
P20	0,2dB	4,7bcB	21,7aA	18,1a	19,6aA	16,1aA	12,6abA	5,0bcB	1,9cdC
P30	0dB	1,0dC	4,1cB	12,7ab	20,4aA	20,7aA	22,8aA	11,4abAB	6,8bcB
P40	0dB	0,2dC	1,2dC	4,1c	10,5bcAB	16,0abA	25,1aA	22,5abA	20,3abA
SP <sup>2</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Letras minúsculas distintas diferem na linha e letras maiúsculas na coluna para uma mesma data pelo teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

<sup>1</sup> Datas de amostragem do pasto.

<sup>2</sup> O tratamento SP encontrava-se completamente acamado na última data de amostragem.

No pastejo moderado (P20), 75 a 80% do dossel apresentou alturas entre 10 e 29,99 cm ao longo de todo o ciclo de pastejo, sendo este o tratamento com maior participação neste intervalo ( $P<0,05$ ). P20 não teve contribuição importante de alturas superiores a 40 cm, sendo igual a P10 e inferior aos demais tratamentos ( $P<0,05$ ). Percebeu-se que P20 foi o tratamento que obteve contribuição de um maior número de intervalos de altura dentre os estudados na composição de seu dossel em todas as datas de avaliação ao longo do ciclo de pastejo.

O tratamento P40 (pastejo leve) destacou-se pela maior participação de alturas superiores a 30 cm, com composição bastante próxima a P30 na maioria das situações. Para as categorias intermediárias (i.e., entre 15 e 29,99 cm), P40 foi inferior a P20 no início do ciclo de pastejo ( $P<0,05$ ). A partir de agosto, não houve diferenças entre P20, P30 e P40 para estes intervalos. P30 e P40 tiveram reduzida participação de alturas abaixo de 15 cm em seu dossel.

Devido à ausência de animais, a vegetação no tratamento SP cresceu livremente, apresentando já no final de julho 96,5% do dossel acima dos 40 cm de altura. Com o avanço do ciclo, a participação deste estrato diminuiu devido ao pronunciado acamamento das plantas iniciado em setembro, o que impossibilitou as medições no mês seguinte.

### 2.3.4 Produção animal

As diferentes intensidades de pastejo impostas sobre o pasto de azevém anual e aveia-preta exerceram efeito sobre o desempenho individual e por área dos bovinos (Tabela 3). Com o aumento da intensidade de pastejo, aumentaram também a CA ( $P < 0,05$ ) e o GPV ( $P < 0,05$ ). A intensidade de pastejo moderada (P20) apresentou maior GMD ( $P < 0,05$ ) quando comparada ao pastejo intenso (P10), não diferindo, no entanto, dos demais tratamentos.

Tabela 3 Variáveis de desempenho de bovinos de corte em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta sob diferentes intensidades de pastejo (P10, pastejo intenso; P20, pastejo moderado; P30, pastejo moderado-leve, P40, pastejo leve; SP, sem pastejo).

Variáveis	Tratamento				EPM	P
	P10	P20	P30	P40		
CA	1112,20a	766,38b	615,27b	386,69c	21,41	0,0001
GMD	1,02b	1,24a	1,14ab	1,08ab	0,02	0,039
GPV	533,46a	442,32b	345,11c	215,88d	8,11	<,0001

CA= carga animal ( $\text{kg PV ha}^{-1}$ ); GMD= ganho médio diário individual ( $\text{kg PV animal}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ); GPV= ganho de peso por área ( $\text{kg PV ha}^{-1}$ ); EPM, erro padrão da média; P, probabilidade. Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

## 2.4 Discussão

### 2.4.1 Efeito da intensidade de pastejo sobre a produção de forragem

A maioria das variáveis de produção vegetal estudadas (Tabela 1) foi afetada pelos tratamentos. O aumento da intensidade de pastejo ocasionou

uma redução da AR e da MF, o que corrobora com resultados anteriormente descritos na literatura (Baggio et al., 2008; Lopes et al., 2009; Carvalho et al., 2010; Wesp et al., 2016). Estes autores apontaram a altura média do pasto como uma ferramenta de manejo útil no estabelecimento de metas para a estrutura da vegetação e produção animal.

A TxAc depende do índice de área foliar (IAF) do pasto, o qual está diretamente relacionado com a massa de forragem (Bircham and Hodgson, 1984). Portanto, considerando-se somente o IAF, a produção de fotossintatos e o acúmulo de carbono tenderiam a ser maiores em pastos mais altos. No entanto, a estrutura da vegetação tem efeito sobre a eficiência fotossintética deste pasto, uma vez que folhas jovens são mais eficientes que folhas em avançada maturação, e folhas sob incidência solar direta mais eficientes que folhas sombreadas (Hodgson, 1990). Ainda segundo este autor, em situações de severa desfolha, a remoção da maior parte dos tecidos e a eventual morte de perfilhos acaba retardando o crescimento do pasto. Todos estes fatores podem ter contribuído para a TxAc menor em P10 quando comparada a P20, que por sua vez não diferenciou-se dos demais tratamentos.

Tendo em vista que a TxAc determina a PTMS, esta seguiu o mesmo comportamento, de modo que maiores PTMS foram obtidas sob intensidades de pastejo moderadas, ainda que sem significância estatística. Aguinaga et al. (2008) e Carvalho et al. (2010), utilizando tratamentos semelhantes, relataram TxAc reduzidas no final do ciclo em pastos sob menores intensidades de pastejo, o que fez com que as TxAc e PTMS não tenham diferido entre os tratamentos.

Na ausência do pastejo, pastos de azevém anual e aveia-preta alongam seus entrenós e apresentam florescimento precoce, encerrando seu ciclo antecipadamente (Rocha et al., 2004). Por este motivo, embora a MF seja superior nestas situações, a PTMS do pasto tende a ser menor ou igual às áreas sob pastejo moderado a leve, pois a biomassa presente acima do solo no final do ciclo naquela situação reflete o acúmulo de biomassa aérea total que ocorreu na pastagem, o que não se aplica às áreas pastejadas (Martins et al., 2015). A este material, somou-se o resíduo acumulado sobre o solo desde o ano anterior, resultando em 9284,52 kg MS ha<sup>-1</sup> contra somente 1692,06 kg MS ha<sup>-1</sup> de resíduo nos tratamentos SP e P10, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com a literatura (Flores et al., 2007; Lopes et al., 2009; Assmann et al., 2014; Kunrath et al., 2015).

Uma das principais barreiras à adoção dos SIPA consiste nos possíveis impactos negativos ocasionados pela presença dos animais em áreas de sucessão a lavouras sob manejo conservacionista, sobretudo decorrentes da remoção do material que serviria de cobertura para o solo, o que poderia reduzir a produtividade de grãos da cultura subsequente (Anghinoni et al., 2013). No entanto, os autores supracitados não verificaram diferenças na produtividade da soja subsequente.

Estudos recentes apontam que, em condições de pastejo moderado, os SIPA promovem melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Moraes et al., 2014). Assmann et al. (2014) verificaram que diferentes níveis de produção de resíduo afetaram as adições de carbono e nitrogênio ao solo, de modo que intensidades de pastejo moderadas a leves resultaram em



incrementos nos teores de C e N similares ao controle sem pastejo. Em contrapartida, sob intensidades de pastejo elevadas ocorreram perdas de N da ordem de  $1,17 \text{ Mg ha}^{-1}$  devido à degradação da matéria orgânica do solo. Nessa situação, a adição de C no solo foi 30% inferior.

#### 2.4.2 Efeito da intensidade de pastejo sobre a heterogeneidade da vegetação

Quanto menor a intensidade de pastejo, maior foi a heterogeneidade espacial encontrada na vegetação. Conforme Cid and Brizuela (1998), a intensidade de pastejo empregada determina a proporção entre áreas com diferentes graus de utilização, mesmo em pastagens cultivadas.

A análise geoestatística verificou uma distribuição espacial homogênea da vegetação ao longo de todo o período nos poteiros sob elevadas intensidades de pastejo (P10). Segundo Augustine and Frank (2001), semivariogramas essencialmente planos, nos quais o aumento da distância entre pares não é acompanhado pelo aumento da semivariância, não apresentam dependência espacial ou *patches* estruturados.

Quando a estruturação espacial não é verificada na escala amostrada, mas em distâncias maiores, a semivariância tende a crescer continuamente com um comportamento aproximadamente linear (Augustine and Frank, 2001). P10 exibiu esta tendência na última data de amostragem (Figura 2g), possivelmente devido ao encerramento precoce do ciclo da aveia e o início tardio do florescimento do azevém (Aguinaga et al., 2008). Isto pode ter acentuado as diferenças na última data de amostragem (Figura 1) entre as áreas pastejadas, mais baixas, e as áreas rejeitadas, mais férteis e geralmente

em estágio fenológico mais avançado, as quais se situam, em sua maioria, nas extremidades dos poteiros (Figura 3c), onde concentram-se as excreções dos animais (Damian et al., 2014). Este comportamento crescente das semivariâncias até maiores distâncias foi observado por Ren et al. (2015) nos estepes chineses, quando o material grosseiro acumulado ao longo dos anos nas extremidades da área de estudo era evitado pelos animais, que consumiam mais em direção ao centro dos poteiros.

Adicionalmente, P10 apresentou, em sua quase totalidade, vegetação excessivamente pastejada (<10 cm), com maior participação da camada de 0 a 4,99 cm quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 2). Isto acarretou em inúmeros pontos de solo descoberto ao longo da área experimental, decorrentes da completa remoção ou morte dos perfilhos pelo excesso de pastejo ou intenso tráfego de animais nestas condições (Baggio et al., 2009).

A maior ocorrência de solo exposto é fator preponderante para a infestação de plantas invasoras (Martins et al., 2015). Kunrath et al. (2015) verificou, no verão, maior incidência de espécies invasoras como a buva (*Coniza bonariensis*) e a corriola (*Ipomea nil*) em áreas submetidas a pastejo intenso (10 cm de altura do pasto) no período anterior quando comparadas aos demais tratamentos (20, 30, 40 cm e Sem Pastejo). Da mesma forma, Schuster et al. (2016, em preparação) encontrou populações de 22,1, 3,8, 1,1, 0,5 e 0,0 plantas invasoras m<sup>-2</sup> no inverno e 13,1, 3,3, 1,3, 1,4, e 3,1 plantas invasoras m<sup>-2</sup> durante o ciclo da soja para as mesmas alturas de manejo, ratificando esta importante função da permanente cobertura do solo.

Segundo Adler et al. (2001), a maioria das intervenções realizadas pelo

homem tende à homogeneização dos ambientes, incluindo as atividades de manejo dos animais que, na maioria das vezes, promovem a uniformização do pastejo sob a equivocada óptica de que quanto mais homogênea a colheita de forragem, maior a eficiência desta colheita. Cid and Brizuela (1998) verificaram que, à medida que a densidade de animais aumentou, a percentagem da superfície ocupada por áreas altamente pastejadas também aumentou, até chegar em um valor máximo a partir do qual a seleção pelos animais limitou-se à rejeição de locais com presença de fezes. Zhao et al. (2007), Lin et al. (2010) e Ren et al. (2015), estudando os efeitos de diferentes intensidades de pastejo sobre a biomassa de forragem e os atributos do solo nos estepes ao norte da China, concluíram que a vegetação apresenta distribuição uniforme e homogênea em áreas fortemente pastejadas, com reduzida biomassa. Em contrapartida, áreas sob menores intensidades de pastejo apresentam vegetações mais heterogêneas.

Menores intensidades de pastejo possibilitam ao dossel expressar sua máxima variabilidade, seja em termos de altura superficial ou biomassa do pasto (Barthram et al.; 2005; Dumont et al., 2012), oportunizando ao animal exercer a seletividade na escolha de seu alimento e criando padrões espaciais mais estáveis (Willms et al., 1988; Cid and Brizuela, 1998). Estas afirmações são corroboradas pelo presente trabalho. O aumento da variabilidade total das alturas verificado com a diminuição da intensidade de pastejo (Figura 1) foi acompanhado pelo aumento da heterogeneidade espacial obtida pela análise de semivariâncias (Figura 2), partindo de situações muito próximas entre os tratamentos antes da entrada dos animais no experimento (Figuras 1, 2a e 3a).

A maior dependência espacial verificada nos semivariogramas até julho pode ter sido decorrente do estágio de desenvolvimento do pasto até esta data, o qual se encontrava na sua totalidade em estágio vegetativo. Isto mudou a partir do mês de agosto, quando a aveia iniciou seu florescimento em P30 e P40, contribuindo para a diminuição das semivariâncias e o “achatamento” das curvas (Figura 2d) para estes tratamentos. Aguinaga et al. (2008) e Carvalho et al. (2010), utilizando os mesmos tratamentos, observaram uma drástica mudança estrutural em pastos manejados a 30 e 40 cm no mês de setembro, devido à maior proporção de perfilhos florescidos e à acentuada redução da relação lâmina/colmo+bainha. O cenário observado a partir deste mês (Figura 2e) foi reflexo destas mudanças. As plantas de aveia atingiram máximo florescimento e passaram a senescer, diminuindo, dessa forma, a altura média e a variabilidade total das alturas nas menores intensidades de pastejo (Figura 1), o que resultou na diminuição também das semivariâncias de P30 e P40, ficando próximas a P20 no mês de outubro (Figura 2g), sem estruturação espacial e com toda sua heterogeneidade representada pelo efeito pepita.

Conforme Coughenour (1991), com o progresso da estação, os herbívoros tendem a selecionar os rebrotes vegetativos, fazendo com que haja uma distinção ainda maior entre estes *patches* e aqueles menos pastejados e em avançado estado de maturação, acentuando o caráter de mosaico do ambiente. No entanto, isto pode ter conduzido a um aumento tão expressivo na heterogeneidade dos tratamentos menos pastejados, que fez com que a quase totalidade da heterogeneidade espacial contida naqueles poteiros tenha passado a ser expressa pelo efeito pepita, ou seja, incrementou-se a

heterogeneidade espacial abaixo da distância mínima amostral (10 m), o que levou ao desaparecimento do padrão antes verificado nos semivariogramas.

Além da heterogeneidade espacial promovida na vegetação, fruto do próprio pastejo, a utilização da pastagem pelo animal implica em promover a heterogeneidade do ambiente também pela distribuição de dejetos, que não é constante e uniforme, e que influencia a concentração de nutrientes e a comunidade microbiana no solo (McNaughton, 1985; Chávez et al., 2011). Damian et al. (2014) observaram incrementos na disponibilidade de P e K em áreas pastejadas, refletindo em maior ciclagem de nutrientes nestes ambientes. Como resultado, locais com presença de fezes no inverno obtiveram produtividades de soja 23% maiores no verão, o que não resultou, porém, em maior produtividade de grãos por hectare nas maiores intensidades de pastejo.

Zhao et al. (2007) e Ren et al. (2015) concluíram que, em áreas fortemente pastejadas, a distribuição espacial das propriedades do solo seguiu o comportamento da distribuição espacial da vegetação e foi homogênea, devido ao reduzido aporte de matéria orgânica e a menor capacidade de armazenamento de água no solo, resultados estes que foram apontados como as principais fontes de vulnerabilidade do sistema, limitando o desenvolvimento da atividade pecuária na região de estudo. A estrutura heterogênea criada pelas menores intensidades de pastejo, por sua vez, propiciou maior biodiversidade e melhorias nos atributos físicos e químicos do solo, otimizando o funcionamento do ecossistema e acelerando a recuperação de ambientes por muitos anos excessivamente pastejados. De forma análoga, o emprego de intensidades de pastejo moderadas em SIPA é capaz de conciliar maior

desempenho animal e conservação ambiental, sem comprometer a produtividade da lavoura de verão e aproximando-se, dessa forma, da tão almejada intensificação sustentável.

A geoestatística pode gerar informações úteis no que diz respeito à *escala de patchiness* (i.e., o quão estruturada em *patches* é a distribuição daquele atributo, seja ele uma variável da vegetação ou a concentração de determinado nutriente no solo) (Augustine and Frank, 2001; Olofsson et al., 2008; Lin et al., 2010). Quando a dependência espacial entre as variáveis é forte, i.e., se a relação entre o efeito pepita e a semivariância total for baixa (Robertson and Gross, 1994), é possível fazer predições a respeito do valor desta variável em outro local (Adler et al., 2001), e a partir daí estudar seus efeitos no sistema como um todo. No entanto, os diferentes níveis de heterogeneidade espacial detectados neste trabalho foram em sua maior parte atribuídos ao efeito pepita.

A análise geoestatística da distribuição das alturas ao longo do dossel confirmou a hipótese de que a presença de animais em SIPA implica em heterogeneidade espacial da vegetação, e esta heterogeneidade é maior quanto menor a intensidade de pastejo empregada (Figuras 2 e 3). No entanto, a distância utilizada na amostragem não foi suficiente para determinar um padrão espacial claro na vegetação. Mais informações acerca da estruturação espacial da vegetação nos diferentes tratamentos poderão ser obtidas reduzindo-se a distância mínima amostral, observando-se a vegetação em escala de *patch* ou mesmo de planta. Quanto mais conhecermos sobre a heterogeneidade espacial da vegetação em ambientes de pastejo, mais

estaremos aptos a entender as estratégias de alimentação dos herbívoros nos modelos de interação planta-animal e incrementar a nossa capacidade de relacionar as características da vegetação ao consumo e, conseqüentemente, ao desempenho animal (Distel et al., 1995).

#### *2.4.3 Efeito da heterogeneidade espacial sobre a produção animal*

Os animais se depararam com uma vegetação bastante homogênea no momento em que entraram no experimento, com todos os tratamentos apresentando acima de 90% do pasto com alturas entre 15 e 34,99 cm (Tabela 2). Segundo Carvalho et al. (2001), o manejo do pasto se resume a construir estruturas que otimizem a colheita de forragem pelo animal em pastejo. Sob esta óptica, considerando o intervalo de alturas pré-estabelecido para a máxima taxa de ingestão de MS (15 a 29,99 cm), a altura que determinou a entrada dos animais neste experimento foi adequada.

Nos estágios mais jovens, a variação da qualidade nutricional em escala de planta é pequena, uma vez que plantas jovens são compostas majoritariamente por folhas. À medida que as plantas amadurecem, a proporção de componentes estruturais aumenta, enquanto as folhas permanecem com alta qualidade. Conseqüentemente, a variação nutricional dentro de uma planta aumenta com o incremento da biomassa, o que se reflete na comunidade vegetal (Fryxell, 1991).

Em pastoreio contínuo, o ideal seria a manutenção de uma estrutura de dossel que possibilitasse a maior participação das alturas supracitadas ao longo de todo o ciclo de pastejo, de modo que o animal possa explorar

positivamente a heterogeneidade através do pastejo seletivo, ingerindo uma dieta com qualidade superior à média que lhe é oferecida pela totalidade da pastagem e obtendo, conseqüentemente, diferentes níveis de produção animal (Carvalho et al., 2001). De acordo com Dumont et al., (2012), é o pastejo seletivo o principal responsável pelo padrão espacial em *patches* da vegetação, através do qual é mantido um mosaico de pastos baixos, superpastejados, e altos, pouco pastejados, que passará por sua vez a governar o padrão de pastejo dos animais (Bakker et al., 1984; Gibb and Ridout, 1986).

A maior participação de alturas inferiores a 10 cm em P10 ao longo de todo o ciclo de pastejo limitou a seletividade dos animais aos estratos baixos da vegetação, compostos basicamente por folhas, de elevada qualidade nutricional, mas reduzida MF, comprometendo o GMD neste tratamento. Em contrapartida, os tratamentos P30 e P40 apresentaram reduzida participação de estratos baixos (<15 cm), mas elevada participação de alturas superiores a 30 cm, com grande parcela da vegetação em estágio reprodutivo desde o início de setembro. De acordo com Agreil et al. (2006), a estrutura do pasto determina a disposição das folhas e colmos e sua acessibilidade pelo animal, influenciando diretamente a taxa de ingestão. Se por um lado, a altura baixa do pasto é um fator limitante à massa do bocado por afetar a profundidade do bocado (Laca et al., 1992; Gregorini et al., 2011), por outro lado, pastagens mais altas limitam o consumo por imporem maior dificuldade à formação do bocado (Gordon and Benvenuti, 2006).

O custo energético das atividades associadas ao pastejo (procura, seleção, apreensão e manipulação) é estimado entre 25 e 50% do



requerimento diário total de manutenção dos animais (Osuji, 1974). Em situações de baixa disponibilidade de forragem, os animais aumentam o tempo de pastejo, o tempo de duração das refeições (Baggio et al., 2008) e o deslocamento total ao longo da área (Baggio et al., 2009), o que também ocorre em fenologias avançadas pela tentativa de compensar a redução na qualidade da dieta devido à difícil acessibilidade das folhas e a queda no valor nutritivo do pasto (Pellegrini et al., 2011). Estes fatores podem ter contribuído para a semelhança entre as situações de baixa (P10) e alta disponibilidade de forragem (P30 e P40) com relação ao GMD.

A intensidade de pastejo moderada fez com que o dossel tenha mantido, ao longo de todo o ciclo de pastejo, a maior parte da vegetação (75-80%) dentro do intervalo de alturas estabelecido (15 a 29,99 cm) para a maximização da ingestão de MS, resultando em maior GMD (Tabela 3). Além disso, este tratamento apresentou participação de um maior número de intervalos de altura ao longo do período estudado, o que permitiu aos animais que exercessem máxima seletividade sem comprometer a ingestão de MS e nutrientes.

Outro aspecto positivo observado em P20 foi a manutenção da pastagem em estágio vegetativo por mais tempo, o que resultou em uma heterogeneidade espacial aproximadamente constante ao longo de todo o ciclo de pastejo, oferecendo aos animais um ambiente heterogêneo na escala espacial, mas relativamente homogêneo na escala temporal. Desse modo, os animais não enfrentaram mudanças bruscas na estrutura da pastagem como as que foram evidenciadas em P30 e P40 a partir da metade do ciclo. Isto pode

ter contribuído para o superior desempenho em P20 quando comparado ao pastejo intenso, enquanto os demais tratamentos obtiveram desempenhos semelhantes a este, pois o comportamento ingestivo dos animais é influenciado por *feedbacks* (Adler et al., 2001) que os fazem eleger o local onde irão pastar a partir de experiências passadas positivas (Merkle et al., 2014).

Os resultados de desempenho individual foram próximos aos reportados na literatura para as mesmas condições. Rocha et al., (2011) observaram incremento no GMD até aproximadamente 25 cm de altura do dossel em pastagem mista de azevém anual e aveia-preta, com valores nas alturas de manejo de 10 e 20 cm de 0,96 e 1,2 kg PV animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Resultados semelhantes foram relatados por Aguinaga et al. (2006), que obtiveram ganhos de 0,73 e 1,14 kg PV animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> em pastos manejados a 10 e 30 cm, respectivamente.

O incremento do GPV verificado com o aumento das intensidades de pastejo foi resultado direto do aumento da carga animal, conforme relatado por Lopes et al. (2009) e Rocha et al. (2011). As CA de 386 a 1112 kg PV ha<sup>-1</sup> obtidas neste trabalho foram superiores às encontradas por Carvalho et al. (2010), que variaram de 315 a 1084 kg PV ha<sup>-1</sup> para os mesmos tratamentos.

## **2.5 Conclusões**

Menores intensidades de pastejo condicionam maior heterogeneidade espacial em pastos mistos de azevém anual e aveia-preta. Intensidades de pastejo elevadas resultam em vegetações homogêneas e com grande participação de pastos excessivamente pastejados. Intensidades de pastejo

moderadas condicionam pastos com maior participação de alturas ótimas para a maximização da taxa de ingestão ao longo do ciclo de pastejo, resultando em maior desempenho individual dos animais e constituindo a melhor alternativa para conciliar produtividade e conservação ambiental em SIPA.

## 2.6 Referências

- Adler, P.B., Raff, D.A., Lauenroth, W.K., 2001. The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation. *Oecologia* 128, 465–479. doi:10.1007/s004420100737
- Agreil, C., Meuret, M., Fritz, H., 2006. Adjustment of feeding choices and intake by a ruminant foraging in varied and variable environments: new insights from continuous bite monitoring. In: Bels, V. (Ed.), *Feeding in domestic vertebrates*. CAB International, Wallingford, pp. 302–325.
- Aguinaga, A.A.Q., Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Dos Santos, D.T., Freitas, F.K., Lopes, M.T., 2006. Produção de novilhos superprecoces em pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. *Rev. Bras. Zootec.* 35, 1765–1773. doi:10.1590/S1516-35982006000600026
- Aguinaga, A.A.Q., Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Pilau, A., Aguinaga, A.J.Q., Gianluppi, G.D.F., 2008. Componentes morfológicos e produção de forragem de pastagem de aveia e azevém manejada em diferentes alturas. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 1523–1530. doi:10.1590/S1516-35982008000900002
- Akaike H., 1974. A new look at statistical model identification. *IEEE T. Automat. Contr.* 19, 716–722.
- Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., Costa, S.E.V.G.A., 2013. Abordagem sistêmica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo* 8, Viçosa, 325–380.
- Assmann, J.M., Anghinoni, I., Martins, A.P., Costa, S.E.V.G.A., Cecagno, D., Carlos, F.S., Carvalho, P.C.F., 2014. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 52–59. doi:10.1016/j.agee.2013.12.003
- Augustine, D.J., Frank, D.A., 2001. Effects of migratory grazers on spatial heterogeneity of soil nitrogen properties in a grassland ecosystem. *Ecology* 82, 3149–3162.
- Baggio, C., Carvalho, P.C. de F., Da Silva, J.L.S., Rocha, L.M., Bremm, C., Santos, D.T. dos, Monteiro, A.L.G., 2008. Padrões de uso do tempo por novilhos em pastagem consorciada de azevém anual e aveia-preta. *Rev. Bras. Zootec.* 37, 1912–1918.
- Baggio, C., Carvalho, P.C.F., Da Silva, J.L.S., Terra Lopes, M. L., Thurow, J.M., 2009. Padrões de deslocamento e captura de forragem por novilhos em pastagem de azevém-anual e aveia-preta manejada sob diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária. *Rev. Bras. Zootec.* 38, 215–

222.

- Bakker, J.P., de Leeuw, J., van Wieren, S.E., 1984. Micro-patterns in grassland vegetation created and sustained by sheep-grazing. *Vegetatio* 55, 153–161.
- Barthram, G.T., 1985. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: *The Hill Farming Research Organization Biennial Report 1984/1985*. HFRO, Penicuik, pp. 29–30.
- Barthram, G.T., Duff, E.I., Elston, D.A., Griffiths, J.H., Common, T.G., Marriott, C.A., 2005. Frequency distributions of sward height under sheep grazing. *Grass Forage Sci.* 60, 4–16.
- Bircham, J.S., Hodgson, J., 1984. The effects of changes in herbage mass on rates of herbage growth and senescence in mixed swards. *Grass Forage Sci.* 39, 111–115. doi:10.1111/j.1365-2494.1984.tb01672.x
- Carvalho, P.C.F., Filho, H.M.N.R., Poli, C.H.E.C., Moraes, A., Delagarde, R., 2001. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. *An. da XXXVIII Reun. Anu. da Soc. Bras. Zootec.* 1, 853–871.
- Carvalho, P.C.F., Maciel, L., Baggio, C., Kunrath, T.R., Moraes, A., 2010. Característica produtiva e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém manejados em quatro alturas sob lotação contínua. *Rev. Bras. Zootec.* 39, 1857–1865.
- Chávez, L.F., Escobar, L.F., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., Meurer, E.J., 2011. Diversidade metabólica e atividade microbiana em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de cultivo. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 46, 1254–1261.
- Cid, M.S., Brizuela, M. A., 1998. Heterogeneity in tall fescue pastures created and sustained by cattle grazing. *J. Range Manag.* 51, 644–649. doi:10.2307/4003606
- Collins, S.L., Knapp, A.K., Briggs, J.M., Blair, J.M., Steinauer, E.M., 1998. Modulation of diversity by grazing and mowing in native tallgrass prairie. *Science* 280, 745–747. doi:10.1126/science.280.5364.745
- Coughenour, M.B., 1991. Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, ranching, and native ungulate ecosystems. *J. Rangel. Manag.* 44, 530–542.
- Damian, F., Amado, T.J.C., Bredemeier, C., Bremm, C., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.F., 2014. Pasture grazing intensity and presence or absence of cattle dung input and its relationships to soybean nutrition and yield in integrated crop – livestock systems under no-till. *Eur. J. Agron.* 57, 84–91.

doi:10.1016/j.eja.2013.10.009

- Da Silva, D.F.F., 2013. A altura que maximiza a taxa de ingestão em pastos de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) é afetada pela existência de palhada quando o método de estabelecimento é em semeadura direta? Federal University of Paraná, Curitiba, PR, Brazil (MSc thesis).
- Distel, R.A., Laca, E.A., Griggs, T.C., Demment, M.W., 1995. Patch selection by cattle: maximization of intake rate in horizontally heterogeneous pastures. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 45, 11–21.
- Dumont, B., Rossignol, N., Loucougaray, G., Carrère, P., Chadoeuf, J., Fleurance, G., Bonis, A., Farruggia, A., Gaucherand, S., Ginane, C., Louault, F., Marion, B., Yavercovski, N., 2012. When does grazing generate stable vegetation patterns in temperate pastures? *Agric. Ecosyst. Environ.* 153, 50–56. doi:10.1016/j.agee.2012.03.003
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 412pp.
- Flores, J.P.C., Anghinoni, I., Cassol, L.C., Carvalho, P.C.F., Dal Belo Leite, J.G., Fraga, T.I., 2007. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavourapecuária com diferentes pressões de pastejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 31, 771–780. doi:10.1590/S0100-06832007000400017
- Fryxell, J.M., 1991. Forage quality and aggregation by large herbivores. *Am. Nat.* 138, 478–498. doi:10.1086/285227
- Gibb, M.J., Ridout, M.S., 1986. The fitting of frequency distributions to height measurements on grazed swards. *Grass Forage Sci.* 41, 247–249.
- Golden Software, 2002. Surfer 8: contouring, gridding and surface mapping for scientists and engineers. Golden, Colorado, USA.
- Gordon, I.J., Benvenuti, M., 2006. Food in 3D: How ruminant livestock interact with sown sward architecture at the bite scale. In: Bels, V. (Ed.), *Feeding in Domestic Vertebrates*. CAB International, Wallingford, pp. 273-287.
- Gregorini, P., Gunter, S.A., Bowman, M.T., Caldwell, J.D., Masino, C.A., Coblenz, W.K., Beck, P.A., 2011. Effect of herbage depletion on short-term foraging dynamics and diet quality of steers grazing wheat pastures. *J. Anim. Sci.* 89, 3824–3830. doi:10.2527/jas.2010-3725
- Gustafson, E.J., 1998. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems* 1, 143–156. doi:10.1007/s100219900011
- Hobbs, N.T., Swift, D.M., 1985. Estimates of habitat carrying capacity

- incorporating explicit nutritional constraints. *J. Wildl. Manage.* 49, 814–822. doi:10.2307/3801716
- Hodgson, J. 1990. *Grazing management: science into practice*. London, UK: Longman Group. 200pp.
- Kirschenmann, F.L., 2007. Potential for a new generation of biodiversity in agroecosystems of the future. *Agron. J.* 99, 373–376. doi:10.2134/agronj2006.0104
- Klingman, D.L., Miles, S.R., Mott, G.O., 1943. The Cage Method for determining consumption and yield of pasture herbage. *Agron. J.* 35, 739–746.
- Kunrath, T.R., Carvalho, P.C.F., Cadenazzi, M., Bredemeier, C., Anghinoni, I., 2015. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. *Cienc. Agron.* 46, 645–653. doi:10.5935/1806-6690.20150049
- Laca, E. a, Ungar, E.D., Seligman, N., Demment, M.W., 1992. Effects of sward height and bulk-density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass Forage Sci.* 47, 91–102. doi:10.1111/j.1365-2494.1992.tb02251.x
- Lin, Y., Hong, M., Han, G., Zhao, M., Bai, Y., Chang, S.X., 2010. Grazing intensity affected spatial patterns of vegetation and soil fertility in a desert steppe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138, 282–292. doi:10.1016/j.agee.2010.05.013
- Lopes, M.L.T., Carvalho, P.C.F., Anghinoni, I., Dos Santos, D.T., Aguinaga, A.A.Q., Flores, J.P.C., Moraes, A. de, 2009. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Cienc. Rural* 39, 1499–1506. doi:10.1590/S0103-84782009005000096
- Martins, A.P., Cecagno, D., Borin, J.B.M., Arnuti, F., Lochmann, S.H., Anghinoni, I., Bissani, C.A., Bayer, C., Carvalho, P.C.F., 2016. Long-, medium- and short-term dynamics of soil acidity in an integrated crop-livestock system under different grazing intensities. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 104, 67–77. doi:10.1007/s10705-015-9759-5
- Martins, A.P., Kunrath, T.R., Anghinoni, I., Carvalho, P.C. F., 2015. *Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil*. UFRGS, Porto Alegre, 102pp (bulletin).
- Mcnaughton, S.J., 1985. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengeti. *Ecol. Monogr.* 55, 259–295.
- McNaughton, S.M., Georgiadis, N.J., 1986. Ecology of African grazing and browsing mammals. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17, 39-65.

doi:10.1146/annurev.es.17.110186.000351

- Merkle, J.A., Fortin, D., Morales, J.M., 2014. A memory-based foraging tactic reveals an adaptive mechanism for restricted space use. *Ecol. Lett.* 17, 924–931. doi:10.1111/ele.12294
- Mezzalana, J.C., Carvalho, P.C.F., Fonseca, L., Bremm, C., Cangiano, C., Gonda, H.L., Laca, E.A., 2014. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 153, 1–9. doi:10.1016/j.applanim.2013.12.014
- 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. *Eur. J. Agron.* 57, 4–9. doi:10.1016/j.eja.2013.10.004
- Mott, G.O., Lucas, H.L., 1952. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: *International Grassland Congress, Pennsylvania, 1952*, pp. 1380–1385 (proceedings).
- Olofsson, J., Mazancourt, C. de, Crawley, M.J., 2008. Spatial heterogeneity and plant species richness at different spatial scales under rabbit grazing. *Oecologia* 156, 825–834. doi:10.1007/s00442-008-1038-6
- Osuji, P.O., 1974. The physiology of eating and the energy expenditure of the ruminant at pasture. *J. Range Manag.* 27, 437. doi:10.2307/3896717
- Pellegrini, L.G. de, Monteiro, A.L.G., Neumann, M., Carvalho, P.C. F., Silva, A.L.P., Lustosa, S.B.C., Pellegrin, A.C.R.S. de, 2011. Comportamento de cordeiros em pastejo de azevém (*Lolium multiflorum*) em diferentes fases fenológicas submetidos à adubação nitrogenada. *Ceres* 58, 329–335.
- Provenza, F.D., Gregorini, P., Carvalho, P.C.F., 2015. Synthesis: foraging decisions link plants, herbivores and human beings. *Anim. Prod. Sci.* 55, 411–425.
- Ren, H., Han, G., Ohm, M., Schönbach, P., Gierus, M., Taube, F., 2015. Do sheep grazing patterns affect ecosystem functioning in steppe grassland ecosystems in Inner Mongolia? *Agric. Ecosyst. Environ.* 213, 1–10. doi:10.1016/j.agee.2015.07.015
- Robertson, G.P., 2000. *GS+: geostatistics for the environmental sciences*. Gamma Design Software. Plainwell, Michigan, USA.
- Robertson, G.P., Gross, K.L., 1994. Assessing the heterogeneity of belowground resources: quantifying pattern and scale. In: *Cladwell, M.M., Percy, R.W. (Eds). Exploitation of environmental heterogeneity by plants: ecophysiological processes above and belowground*. Academic Press, San Diego.



- Rocha, L.M., Carvalho, P.C.F., Baggio, C., Anghinoni, I., Terra Lopes, M.L., Macari, S., Da Silva, J.L.S. da, 2011. Desempenho e características das carcaças de novilhos superprecoces em pastos hibernais submetidos a intensidades de pastejo. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 46, 1379–1384. doi:10.1590/S0100-204X2011001000035
- Rocha, M.G. da, Montagner, D.B., Dos Santos, D.T., Freitas, F.K. de, Pilau, A., Frizzo, A., 2004. Parâmetros produtivos de uma pastagem temperada submetida a alternativas de utilização. *Rev. Bras. Zootec.* 33, 1386–1395. doi:10.1590/S1516-35982004000600005
- Salton, J.C., Carvalho, P.C.F., 2007. Heterogeneidade da Pastagem - Causas e Conseqüências. Doc. 91, Embrapa, Dourados, 41pp.
- SAS Institute Inc., 2015. JMP 12 Statistical Discovery. Cary, NY, USA.
- Schuster, M.Z., 2016. Weed dynamics in an Integrated Crop-Livestock Systems. Federal University of Paraná, Curitiba, PR, Brazil (PhD thesis).
- Stobbs, T.H., 1975. A comparison of zulu sorghum, bulrush millet and white panicum in terms of yield, forage quality and milk production. *Aust. J. Exp. Agr.* 15, 211–218. doi:10.1071/EA9750211
- Wesp, C.D.L., Carvalho, P.C.F., Conte, O., Cadenazzi, M., Anghinoni, I., Bremm, C., 2016. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights. *Ciência Agronômica* 47, 187–194. doi:10.5935/1806-6690.20160022
- Willms, W.D., Dormaar, J.F., Schaalje, G.B., 1988. Stability of grazed patches on rough fescue grasslands. *J. Range Manag.* 503–508. doi:10.2307/3899527
- Zhao, Y., Peth, S., Kr, J., Horn, R., Wang, Z., Steffens, M., Hoffmann, C., Peng, X., 2007. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecol. Modell.* 205, 241–254. doi:10.1016/j.ecolmodel.2007.02.019

### **3 CAPÍTULO III**

### 3.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A heterogeneidade espacial da vegetação aumenta com a diminuição da intensidade de pastejo em pastos mistos de azevém anual e aveia-preta. O manejo do dossel com alturas médias próximas a 10 cm, isto é, sob intensidades de pastejo elevadas, resulta em uma vegetação homogênea e com predomínio de estratos excessivamente pastejados, o que limita a seletividade dos animais à rejeição de locais com depósito de excrementos e compromete a profundidade do bocado na apreensão da forragem, prejudicando a ingestão e conseqüentemente o ganho de peso dos animais, além de gerar inúmeros prejuízos para o sistema como um todo.

O manejo do pasto com intensidades de pastejo moderadas a leves favorece a taxa de crescimento das plantas e a produção total de matéria seca. Estes fatores, somados à presença do animal no sistema, resultam em uma ciclagem mais eficiente dos nutrientes na pastagem nestas condições, conforme aponta a literatura.

O emprego de intensidades de pastejo moderadas (20 cm de altura média do pasto) resulta em uma vegetação com maior participação de alturas que maximizam a taxa de ingestão ao longo de todo o ciclo de pastejo, resultando em maiores desempenhos individuais e constituindo a melhor alternativa para conciliar a produtividade à conservação ambiental, aproximando-se do conceito de intensificação sustentável dos sistemas de produção.

A utilização da geoestatística no estudo da estrutura da vegetação feita neste trabalho constitui um importante passo para a melhor descrição do ambiente de pastejo e a compreensão dos processos envolvidos na seleção de dietas por bovinos, a qual poderá ser enriquecida ainda mais com estudos já iniciados sobre o deslocamento dos animais na pastagem e experimentos futuros sobre o consumo instantâneo monitorado a partir da metodologia do grid de bocados (BONNET et al., 2015) nestes ambientes. A redução da escala de observação até o nível de *patch* ou mesmo de planta podem vir a esclarecer questões sobre a influência das diferentes intensidades de pastejo sobre a produtividade das culturas de verão subsequentes em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, visto que as diferenças entre os tratamentos detectadas por inúmeros autores durante a fase pastagem não têm se refletido na produtividade da cultura da soja ao longo dos 15 anos deste protocolo experimental.

#### 4 REFERÊNCIAS

- AGREIL, C.; MEURET, M.; FRITZ, H. Adjustment of feeding choices and intake by a ruminant foraging in varied and variable environments: new insights from continuous bite monitoring. In: BELS, V. (Ed.). **Feeding in domestic vertebrates**. Wallingford: CAB International, 2006. p. 302–325.
- ADLER, P.B.; RAFF, D.A.; LAUENROTH, W.K. The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation. **Oecologia**, Berlin, v. 128, p. 465–479, 2001.
- AMARAL, M.F. et al. Sward structure management for a maximum short-term intake rate in annual ryegrass. **Grass Forage Sci.**, Oxford, v. 68, p. 271–277, 2012.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; COSTA, S.E.V.G.A. Abordagem sistêmica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, Viçosa, p. 325–380, 2013.
- ASSMANN, J.M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, Amsterdam, v. 190, p. 52–59, 2014.
- AUGUSTINE, D.J.; FRANK, D.A. Effects of migratory grazers on spatial heterogeneity of soil nitrogen properties in a grassland ecosystem. **Ecology**, New York, v. 82, p. 3149–3162, 2001.
- BAILEY, D.W. et al. Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. **J. Range Manag.**, Denver, v. 49, 386–400, 1996.
- BAKKER, J.P.; DE LEEUW, J.; VAN WIEREN, S.E. Micro-patterns in grassland vegetation created and sustained by sheep-grazing. **Vegetatio**, The Hague, v. 55, 153–161, 1984.
- BARTHURAM, G.T. et al. Frequency distributions of sward height under sheep grazing. **Grass Forage Sci.**, Oxford, v. 60, p. 4–16, 2005.
- BELL, L.W.; MOORE, A.D. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. **Agr. Syst.**, Essex, v. 111, p. 1–12, 2012.
- CARVALHO, P.C.F. A estrutura da pastagem e o comportamento ingestivo de ruminantes em pastejo. In: JOBIM, C.C.; SANTOS, G.T.; CECATO, U. (Eds.). **Avaliação de pastagens com animais**. Maringá, PR, Brazil, 1997. p. 25–52.
- CARVALHO, P.C.F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutr. Cycl. Agroecosyst**,

Dordecht, v. 88, p. 259–273, 2010.

CARVALHO, P. C.F. et al. O estado da arte em integração lavoura-pecuária. In: GOTTSCHELL, C.S.; SILVA, J.L.S.; RODRIGUES, N.C. (Org.). **Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia**. Canoas, RS, 2005. p.7-44

CARVALHO, P.C. F. et al. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, SBZ, 2001. p. 853–871.

CARVALHO, P.C.F. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? **Trop. Grasslands**, Brisbane, v. 1, p. 137–155, 2013.

CHARNOV, E.L. Optimal Foraging, the Marginal Value Theorem. **Theor. Popul. Biol.**, Belgium, v. 9, p. 129–136, 1976.

CHÁVEZ, L.F. et al. Diversidade metabólica e atividade microbiana em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de cultivo. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, Brasília, v. 46, p. 1254–1261, 2011.

CID, M.S.; BRIZUELA, M.A. Heterogeneity in tall fescue pastures created and sustained by cattle grazing. **J. Range Manag.**, Denver, v. 51, p. 644–649, 1998.

COLEMAN, S.W.; SOLLENBERGER, L.E. Plant-herbivore interactions. In: BARNES, R.F. et al. (Ed.). **Forages - The science of grassland agriculture**. Ames: Blackwell Publishing, 2007. p. 123-136.

COLLINS, S.L. et al. Modulation of diversity by grazing and mowing in native tallgrass prairie. **Science**, New York, v. 280, p. 745–747, 1998.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 dez. 2015.

CORRELL, O. et al. Studying spatial and temporal dynamics of sward structure at low stocking densities: the use of an extended rising-plate-meter method. **Grass Forage Sci.**, Oxford, v. 58, p. 450–454, 2003.

CUI, X. et al. Effect of long-term grazing on soil organic carbon content in semiarid steppes in Inner Mongolia. **Ecol. Res.**, Tsukuba, v. 20, p. 519–527, 2005.

DA SILVA, D.F.F. **A altura que maximiza a taxa de ingestão em pastos de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) é afetada pela existência de palhada quando o método de estabelecimento é em semeadura direta?** 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

DISTEL, R.A., et al. Patch selection by cattle: maximization of intake rate in horizontally heterogeneous pastures. **Appl. Anim. Behav. Sci.**, Madison, v. 45, p. 11–21, 1995.

DORÉ, T. et al. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. **Eur. J. Agron.**, Amsterdam, v. 34, p. 197–210, 2011.

DUMONT, B. et al. When does grazing generate stable vegetation patterns in temperate pastures? **Agric. Ecosyst. Environ.**, Amsterdam, v. 153, p. 50–56, 2012.

ENTZ, M.H.; BELLOTTI, W.D.; POWELL, J.M. Evolution of integrated crop-livestock production systems. In: MCGILLOWAY, D.A. (Ed.). **Grassland: a global resource**. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2005. p. 137–148.

FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The Way Forward for Sustainable Production Intensification. **Integr. Crop Manag.**, Rome, v.13, 64 p., 2010.

FRANZLUEBBERS, A.J.; SULC, R.M.; RUSSELLE, M.P. Opportunities and challenges for integrating North-American crop and livestock systems. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; CHABBI, A. (Ed.). **Grassland Productivity and Ecosystem Services**. Wallingford : CAB International, 2011. p. 208–218.

FRYXELL, J.M. Forage Quality and Aggregation by Large Herbivores. **Am. Nat.**, Chicago, v. 138, p. 478–498, 1991.

GIBB, M.J.; RIDOUT, M.S. Application of double normal frequency distributions fitted to measurements of sward height. **Grass Forage Sci.**, Oxford, v. 43, p. 131–136, 1988.

GIBB, M.J.; RIDOUT, M.S. The fitting of frequency distributions to height measurements on grazed swards. **Grass Forage Sci.**, Oxford, v. 41, p. 247–249, 1986

GORDON, I.J.; BENVENUTTI, M. Food in 3D: How ruminant livestock interact with sown sward architecture at the bite scale. In: BELS, V. (Ed.). **Feeding in Domestic Vertebrates**. Wallingford: CAB International, 2006. p. 273-287.

GREGORINI, P. et al. Effect of herbage depletion on short-term foraging dynamics and diet quality of steers grazing wheat pastures. **J. Anim. Sci.**, Champaign, v. 89, p. 3824–3830, 2011.

GREGORINI, P. Diurnal grazing pattern: its physiological basis and strategic management. **Anim. Prod. Sci.**, Collingwood, v. 52, p. 416–430, 2012.

HAN, G. et al. Effect of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and

vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. **Agric. Ecosyst. Environ.**, Amsterdam, v. 125, p. 21–32, 2008.

HE, N.P. et al. Grazing intensity impacts soil carbon and nitrogen storage of continental steppe. **Ecosphere**, Washington, v. 2, p. 1-10 (art.8), 2011.

HOBBS, N.T.; SWIFT, D.M. Estimates of habitat carrying capacity incorporating explicit nutritional constraints. **J. Wildl. Manage.**, Bethesda, v. 49, p. 814–822, 1985.

HOBBS, N.T.; SWIFT, D.M. Grazing in herds: when are nutritional benefits realized? **Am. Nat.**, Chicago, v. 131, p. 760–764, 1988.

HODGSON, J. Nomenclature and definitions in grazing studies. **Grass Forage Sci.**, Oxford, v. 34, p. 11–18, 1979.

ILLIUS, W.; WOOD-GUSH, D.G.M.; EDDISON, J.C. A study of the foraging behaviour of cattle grazing a patchy sward. **Biol. Behav.**, Paris, v. 12, p. 33-44, 1987.

KIRSCHENMANN, F.L. Potential for a new generation of biodiversity in agroecosystems of the future. **Agron. J.**, Madison, v. 99, p. 373–376, 2007.

KOTLIAR, N. B.; WIENS, J. A. Multiple scales of patchiness and patch structure. A hierarchical framework for the study of heterogeneity. **Oikos**, Copenhagen, v. 59, n. 2, p. 253-260, 1990.

KUNRATH, T.R. et al. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. **Cienc. Agron.**, Fortaleza, v. 46, p. 645–653, 2015.

LACA E.A. et al. Effects of canopy structure on patch depression by grazers. **Ecology**, New York, v. 75, p. 706–716, 1994.

LACA, E.A.; LEMAIRE, G. Measuring sward structure. In: T' MANNETJE, L.; JONES, R.M. (Ed.). **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Wallingford: CAB International, 2000. p.103-121.

LACA, E.A. et al. Effects of sward height and bulk-density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. **Grass Forage Sci.**, Oxford, v. 47, p. 91–102, 1992.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agric. Ecosyst. Environ.**, Amsterdam, v. 190, p. 4–8, 2014.

LIEBIG, J. **Die organische chemie in ihrer anwendung auf agricultur undphysiologie**. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn, 1840. 368 p.

LIN, Y. et al. Grazing intensity affected spatial patterns of vegetation and soil fertility in a desert steppe. **Agric. Ecosyst. Environ.**, Amsterdam, v. 138, p. 282–292, 2010.

LOPES, M.L.T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoces terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 178–184, 2008.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 28, p.175-187, 2004.

MARTINS, A.P. et al. **Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2015. 102 p. (Boletim técnico)

MCNAUGHTON, S.J. Ecology of a grazing ecosystem: the Serengeti. **Ecol. Monogr.**, Lawrence, v. 55, p. 259–295, 1985.

MCNAUGHTON, S.M.; GEORGIADIS, N.J. Ecology of African grazing and browsing mammals. **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, Palo Alto, v. 17, p. 39-65, 1986.

MCNAUGHTON, S. J. Grazing lawns: animals in herds, plant form, and coevolution. **Am. Nat.**, Chicago, v. 124, p. 863– 886, 1984.

MEDEIROS, R.B. Considerações sobre a integração lavoura-pecuária no Rio Grande do Sul. In: 5º Simpósio sobre o manejo da pastagem. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1978. pp. 235–301.

MEZZALIRA, J.C. et al. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. **Appl. Anim. Behav. Sci.**, Madison, v. 153, p. 1–9, 2014.

MORAES, A. et al. Integrated crop – livestock systems in the Brazilian subtropics. **Eur. J. Agron.**, Amsterdam, 57, 4–9, 2014.

MORRIS, C.D.; DERRY, J.F.; HARDY, M.B. Effect of cattle and sheep grazing on the structure of Highland Sourveld swards in South Africa. **Trop. Grasslands**, Brisbane, v. 33, p. 111–121, 1999.

NICOLOSO, R.D.S.; LANZANOVA, M.E.; LOVATO, T. Manejo das pastagens de inverno e potencial produtivo de sistemas de integração lavoura-pecuária no Estado do Rio Grande do Sul. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1799–1805, 2006.

NICOLOSO, R.S. et al. Balanço de carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2425–2433, 2008.



O'CONNOR, T. G. Composition and population responses of an African savanna grassland to rainfall and grazing. **J. Appl. Ecol.**, Oxford, v. 31, p. 155–171, 1994.

OLOFSSON, J.; MAZANCOURT, C.; CRAWLEY, M.J. Spatial heterogeneity and plant species richness at different spatial scales under rabbit grazing. **Oecologia**, Berlin, v. 156, p. 825–834, 2008.

PROVENZA, F.D.; GREGORINI, P.; CARVALHO, P.C.F. Synthesis: foraging decisions link plants, herbivores and human beings. **Anim. Prod. Sci.**, Collingwood, v. 55, p. 411–425, 2015.

REN, H. et al. Do sheep grazing patterns affect ecosystem functioning in steppe grassland ecosystems in Inner Mongolia? **Agric. Ecosyst. Environ.**, Amsterdam, v. 213, p. 1–10, 2015.

ROCHA, L.M. et al. Desempenho e características das carcaças de novilhos superprecoces em pastos hibernais submetidos a intensidades de pastejo. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, Brasília, v. 46, p. 1379–1384, 2011.

RUSSELLE, M.P.; ENTZ, M.H.; FRANZLUEBBERS, A.J. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agron. J.**, Madison, v. 99, p. 325–334, 2007.

SALTON, J.C.; CARVALHO, P.C.F. **Heterogeneidade da Pastagem - Causas e Conseqüências**. Dourados: Embrapa, 2007. 41 p. (Documento, 91)

SENFT, R.L. et al. Large herbivore foraging and ecological hierarchies. **Bioscience**, Washington, v. 37, p. 789–799, 1987.

STEFFENS, M. et al. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, p. 63–72, 2008.

STOBBS, T.H. A comparison of zulu sorghum, bulrush millet and white panicum in terms of yield, forage quality and milk production. **Aust. J. Exp. Agr.**, Melbourne, v. 15, p. 211–218, 1975.

SULC, R.M.; TRACY, B.F. Integrated Crop–Livestock Systems in the U.S. Corn Belt. **Agron. J.**, Madison, v. 99, p. 335–345, 2007.

TILMAN, D. Competition and biodiversity in spatially structured habitats. **Ecology**, New York, v. 75, p. 2–16, 1994.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, p. 671–677, 2002.

UNGAR, E.D.; GENIZI, A.; DEMMENT, M.W. Bite dimensions and herbage intake by grazing short hand-constructed swards. **Agron. J.**, Madison, v. 83, p.

973–978, 1991.

WESP, C.D.L. et al. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights. **Cienc. Agron.**, Fortaleza, v. 47, p. 187–194, 2016.

WILLMS, W.D.; DORMAAR, J.F.; SCHAALJE, G.B. Stability of grazed patches on rough fescue grasslands. **J. Range Manag.**, Denver, v. 41, p. 503–508, 1988.

WILMSHURST, J.F.; FRYXELL, J.M.; COLUCCI, P.E. What constrains daily intake in Thomson' s gazelles ? **Ecology**, New York, v. 80, p. 2338–2347, 1999.

WITTENBERGER, J. F. **Animal social behavior**. Boston: Duxbury Press, 1981. 722 p.

ZHAO, Y. et al. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. **Ecol. Modell.**, Amsterdam, v. 205, p. 241–254, 2007.

## 5 APÊNDICES

**Apêndice 1** Normas para elaboração e submissão de trabalhos científicos à revista *Agriculture, Ecosystems & Environment*.



### AGRICULTURE, ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT

An International Journal for Scientific Research on the Interaction Between Agroecosystems and the Environment

#### AUTHOR INFORMATION PACK

#### TABLE OF CONTENTS

• <b>Description</b>	<b>p.1</b>
• <b>Audience</b>	<b>p.1</b>
• <b>Impact Factor</b>	<b>p.2</b>
• <b>Abstracting and Indexing</b>	<b>p.2</b>
• <b>Editorial Board</b>	<b>p.2</b>
• <b>Guide for Authors</b>	<b>p.4</b>



ISSN: 0167-8809

#### DESCRIPTION

##### AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT

**An International Journal for Scientific Research on the Interaction Between Agroecosystems and the Environment**

*Agriculture, Ecosystems and Environment* publishes scientific articles dealing with the interface between **agroecosystems** and the **natural environment**, specifically how **agriculture** influences the environment and how changes in that environment impact agroecosystems. Preference is given to papers from experimental and observational research at the field, system or landscape level, from studies that enhance our understanding of processes using data-based biophysical modelling, and papers that bridge scientific disciplines and integrate knowledge. All papers should be placed in an international or wide comparative context.

The focus is on the following areas:

- Biological and physical characteristics and dynamics of agroecosystems.
- Ecology, diversity and sustainability of agricultural systems.
- Relationships between agroecosystems and the natural environment, including land, air, and water.
- Agroecosystem and global environmental changes including climate change, greenhouse gases and air pollution.
- Ecological consequences of intensification, soil degradation, waste application, irrigation, and mitigation options.
- Environmental implications of agricultural land use and land use change.

All manuscripts are initially screened on their topic suitability and linguistic quality. The following topics are discouraged unless they provide new information regarding processes operating at the agroecosystem-environment interface: inventory and survey analysis and impact assessment, including life cycle and emergy analysis; greenhouse or laboratory-based studies; development of models or methodologies and pure model application; studies that are purely agronomic, socio-economic, or political.

#### AUDIENCE

Scientists in Agriculture, Forestry, Ecology and the Environment, Administrators and Policy-Makers in these fields.

## IMPACT FACTOR

---

2014: 3.402 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2015

## ABSTRACTING AND INDEXING

---

AGRICOLA  
 BIOSIS  
 Biological and Agricultural Index  
 Elsevier BIOBASE  
 Current Contents/Agriculture, Biology & Environmental Sciences  
 Ecological Abstracts  
 Environmental Abstracts  
 Environmental Periodicals Bibliography  
 GEOBASE  
 Science Citation Index  
 TROPAG/RURAL Database  
 Scopus  
 EMBiology

## EDITORIAL BOARD

---

### *Editor-in-Chief:*

**J. Fuhrer**, Agroscope, Institute for Sustainability Sciences, Climate/Air Pollution Research Group, Zurich, Switzerland

### *Associate Editors*

**C. Boutin**, Environment Canada, Ottawa, ON, Canada  
**F. Burel**, Université de Rennes I, Rennes, France  
**A.C. Edwards**, Crop & Soil Systems, SRUC, Aberdeen, UK  
**S. Saggar**, Manaaki Whenua Landcare Research, Palmerston North, New Zealand  
**G. Seneviratne**, National Institute of Fundamental Studies, Kandy, Sri Lanka  
**B. Vanlauwe**, International Institute of Tropical Agriculture, Nairobi, Kenya  
**T.A. Veldkamp**, University of Twente, Enschede, Netherlands

### *Editorial Advisory Board*

**J Alvaro-Fuentes**, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Spain  
**T.J.C. Amado**, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Spain  
**P. Audet**, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada  
**N. Batjes**, ISRIC - World Soil Information, Wageningen, Netherlands  
**R. Bhattacharyya**, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India  
**K. Birkhofer**, Lund University, Lund, Sweden  
**I. Cardoso**, Federal University of Vicosa, Vicosa, Brazil  
**C. Carranca**, Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIAV), Nova Oeiras, Portugal  
**A. Cerda**, Universitat de València, Valencia, Spain  
**X. Chen**, Zhejiang University, Zhejiang, China  
**F. Conen**, Universität Basel, Basel, Switzerland  
**A. de Rouw**, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France  
**C. Drury**, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Harrow, Ontario, Canada  
**L.G. Firbank**, Institute of Grasslands and Environmental Research, Okehampton, UK  
**M. Frei**, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Germany  
**G. Giltrap**, Landcare Research, Lincoln, New Zealand  
**S. Hauser**, IITA, Croydon, UK  
**J. Helenius**, University of Helsinki, Helsinki, Finland  
**G. Hernandez-Ramirez**, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada  
**Y. Huang**, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing, China  
**M.J. Jones**, The Roaches, Dorset, UK  
**M.B. Kirkham**, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA  
**J. Leifeld**, Agroscope, Zürich, Switzerland  
**F-M. Li**, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu Province, China  
**Y. Li**, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China  
**B. Loubet**, Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), Thiverval-Grignon, France  
**J. Luo**, AgResearch, Hamilton, New Zealand

**N.Z. Lupwayi**, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Lethbridge, Alberta, Canada  
**E.J.P. Marshall**, Marshall Agroecology Limited, Winscombe, UK  
**W.J. McConnell**, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA  
**G. Moreno Marcos**, Universidad de Extremadura, Plasencia, Spain  
**K. Mueller**, AgResearch Ltd., Hamilton, New Zealand  
**J. Nyamangara**, Chinhoyi University of Technology, A1, Chinhoyi, Zimbabwe  
**O. Oenema**, University of Wageningen, Wageningen, Netherlands  
**D.M. Olszyk**, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Corvallis, Oregon, USA  
**A. Ouin**, INP ENSAT, Castanet-Tolosan, France  
**S. Petit**, INRA Centre de Dijon, 21065 Dijon cedex, France  
**S.L. Poggio**, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina  
**C Scheer**, Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland, Australia  
**M. Shiyomi**, Ibaraki University, Mito, Japan  
**M. Sperow**, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, USA  
**P. Thorburn**, CSIRO Agriculture Flagship, St Lucia, Australia  
**K. Topp**, Scotland's Rural University College (SRUC), Edinburgh, UK  
**F. Van der Pol**, Royal Tropical Institute, Amsterdam, Netherlands  
**E.F. Viglizzo**, INTA Centro Regional La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina  
**C. Wellstein**, Libera Università di Bolzano, Italy  
**B.A. Woodcock**, NERC Centre for Ecology and Hydrology, Crowmarsh Gifford, Wallingford, England, UK  
**H. Xiubin**, Chinese Academy of Sciences (CAS), Yangling Shaanxi, China  
**H. Yao**, Zhejiang University, Hangzhou, China

## GUIDE FOR AUTHORS

---

### INTRODUCTION

Agriculture, Ecosystems and Environment deals with the interface between agriculture and the environment. Preference is given to papers that develop and apply interdisciplinarity, bridge scientific disciplines, integrate scientific analyses derived from different perspectives of agroecosystem sustainability, and are put in as wide an international or comparative context as possible. It is addressed to scientists in agriculture, food production, agroforestry, ecology, environment, earth and resource management, and administrators and policy-makers in these fields.

The journal regularly covers topics such as: ecology of agricultural production methods; influence of agricultural production methods on the environment, including soil, water and air quality, and use of energy and non-renewable resources; agroecosystem management, functioning, health, and complexity, including agro-biodiversity and response of multi-species ecosystems to environmental stress; the effect of pollutants on agriculture; agro-landscape values and changes, landscape indicators and sustainable land use; farming system changes and dynamics; integrated pest management and crop protection; and problems of agroecosystems from a biological, physical, economic, and socio-cultural standpoint.

#### *Types of papers*

- Types of papers**
1. Original papers (Regular Papers) should report the results of original research. The material should not have been published previously elsewhere, except in a preliminary form.
  2. Reviews should cover a part of the subject of active current interest. They may be submitted or invited.
  3. A Short Communication is a concise, but complete, description of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Short Communications should be as completely documented, both by reference to the literature and description of the experimental procedures employed, as a regular paper. They should not occupy more than 6 printed pages (about 12 manuscript pages, including figures, etc.).
  4. In the section 'Comments', short commentaries on material published in the journal are included, together with replies from author(s).
  5. The section 'Opinion Paper' offers a forum for discussion of emerging or controversial ideas, or new approaches and concepts, in all areas covered by the journal. Contributions to this section should not occupy more than 2 printed pages (about 4 manuscript pages).

### BEFORE YOU BEGIN

#### *Ethics in publishing*

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <https://www.elsevier.com/publishingethics> and <https://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

#### *Conflict of interest*

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <https://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: [http://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/286/supporthub/publishing](http://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/supporthub/publishing).

#### *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 or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <https://www.elsevier.com/sharingpolicy>), 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 CrossCheck <https://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

### **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.

#### *Article Transfer Service*

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable for another journal, you may be asked to consider transferring your article to the alternative journal of your choice. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. More information about this can be found here: <http://www.elsevier.com/authors/article-transfer-service>.

### **Copyright**

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <https://www.elsevier.com/copyright>). 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 (please consult <https://www.elsevier.com/permissions>). 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: please consult <https://www.elsevier.com/permissions>.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <https://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <https://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

#### **Author rights**

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. For more information see <https://www.elsevier.com/copyright>.

#### **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.

#### **Funding body agreements and policies**

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some authors may also be reimbursed for associated publication fees. To learn more about existing agreements please visit <https://www.elsevier.com/fundingbodies>.

#### **Open access**

This journal offers authors a choice in publishing their research:

##### **Open access**

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse

- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf e.g. by their research funder or institution

#### **Subscription**

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our universal access programs (<https://www.elsevier.com/access>).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following Creative Commons user licenses:

#### *Creative Commons Attribution (CC BY)*

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

#### *Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)*

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is **USD 3600**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

#### **Green open access**

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our green open access page for further information (<http://elsevier.com/greenopenaccess>). Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form.

This journal has an embargo period of 24 months.

#### **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 WebShop (<http://webshop.elsevier.com/languageediting/>) or visit our customer support site (<http://support.elsevier.com>) for more information.

#### **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.

#### **Referees**

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of five potential referees. The suggested referees should not be part of your or your co-authors' institutions, nor should you or your co-authors have collaborated with them in the past three years. Potential referees should be experts in your research field and from several countries.

Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.



## PREPARATION

### *Use of word processing software*

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. 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.

**Manuscripts should be prepared with numbered lines, with wide margins and double line spacing throughout, i.e. also for abstracts, footnotes and references. Every page of the manuscript, including the title page, references, tables, etc. should be numbered.** However, in the text no reference should be made to page numbers; if necessary, one may refer to sections.

### **Article structure**

#### *Subdivision - numbered sections*

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

#### *Introduction*

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

#### *Results*

Results should be clear and concise.

#### *Discussion*

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

#### *Conclusions*

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

#### *Appendices*

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

### **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. 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. **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.

### **Abstract**

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the 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, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

#### *Optional graphical abstract*

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the paper in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the paper. Graphical abstracts should be submitted with a caption. Supply captions separately, not attached to the graphical abstract. A caption should comprise a brief title (**not** on the graphical abstract itself). Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Maximum image size: 400 600 pixels (h w, recommended size 200 500 pixels). Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

### **Highlights**

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and 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). See <https://www.elsevier.com/highlights> for examples.

#### *Keywords*

Immediately after the abstract, please provide 4-6 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.

### **Acknowledgements**

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

### **Math formulae**

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

### **Footnotes**

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors can build footnotes into the text, and this feature may be used. Otherwise, please indicate the position of footnotes in the text and list the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

### **Artwork**

#### *Electronic artwork*

##### *General points*

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.

- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

**You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.**

#### *Formats*

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, 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 all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

#### **Please do not:**

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- 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. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

#### *Figure captions*

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. 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.

#### **References**

##### *Citation in text*

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

##### *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 encouraged.

#### *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.

#### *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 (<http://citationstyles.org>), such as Mendeley (<http://www.mendeley.com/features/reference-manager>) and Zotero (<https://www.zotero.org/>), as well as EndNote (<http://endnote.com/downloads/styles>). Using the word processor 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.

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/agriculture-ecosystems-and-environment>

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

#### *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 should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). 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.

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 13.03.03).

#### *Journal abbreviations source*

Journal names should be abbreviated according to the List of Title Word Abbreviations: <http://www.issn.org/services/online-services/access-to-the-ltwa/>.

#### **Video data**

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 files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. 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 at <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>. 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.

#### **AudioSlides**

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <https://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

#### **Supplementary material**

Supplementary material can support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Please note that such items are published online exactly as they are submitted; there is no typesetting involved (supplementary data supplied as an Excel file or as a PowerPoint slide will appear as such online). Please submit the material together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. If you wish to make any changes to supplementary data during any stage of the process, then please make sure to provide an updated file, and do not annotate any corrections on a previous version. Please also make sure to switch off the 'Track Changes' option in any Microsoft Office files as these will appear in the published supplementary file(s). For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <https://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

#### **Google Maps and KML files**

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <https://www.elsevier.com/googlemaps>.

#### **Interactive plots**

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. For instructions please go to <https://www.elsevier.com/interactiveplots>.

#### **Submission checklist**

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

##### **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, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- 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)

Printed version of figures (if applicable) in color or black-and-white

- Indicate clearly whether or not color or black-and-white in print is required.

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

## AFTER ACCEPTANCE

### *Use of the Digital Object Identifier*

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

### *Online proof correction*

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, at no cost, will be provided with a personalized link providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com). This link can also be used for sharing via email and social networks. 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 WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/booklets>).

## AUTHOR INQUIRIES

You can track your submitted article at <https://www.elsevier.com/track-submission>. You can track your accepted article at <https://www.elsevier.com/trackarticle>. You are also welcome to contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.

© Copyright 2014 Elsevier | <http://www.elsevier.com>

## 6 VITA

Pedro Arthur de Albuquerque Nunes, filho de Maria Beatriz Soares Albuquerque e Ricardo Nunes, nasceu no dia 23 de julho de 1990, em Cachoeira do Sul, no Rio Grande do Sul. cursou Ensino Fundamental e Médio no Colégio Sinodal Barão do Rio Branco, em Cachoeira do Sul, onde concluiu seus estudos no ano de 2007. Em 2009, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde, de imediato, iniciou suas atividades de iniciação científica, então como voluntário, no Laboratório de Bovinocultura de Corte, sob orientação dos professores Dari Celestino Alves Filho e Ivan Brondani. Passou pelo Setor de Ovinocultura, sob orientação do professor Sérgio Machado, e, posteriormente, ingressou no Laboratório de Biotecnologia Vegetal, sob orientação do professor Fernando Teixeira Nicoloso, onde trabalhou por dois anos como bolsista CNPq de iniciação científica, com a temática da fisiologia vegetal de plantas em solos contaminados por metais pesados. No sétimo semestre do curso de Agronomia, voltou a ter contato com a área da Zootecnia, e passou a trabalhar no Laboratório de Pastos e Suplementos sob orientação das professoras Luciana Potter e Marta Gomes da Rocha, onde foi bolsista de monitoria até o final da graduação. Formou-se Engenheiro Agrônomo em janeiro de 2014. Em abril de 2014, deu início ao curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), sob orientação do Prof. Dr. Paulo César de Faccio Carvalho. Em fevereiro de 2015, partiu rumo ao Mestrado Sanduíche na Facultad de Ciencias Veterinarias da Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), em Tandil, Argentina, onde permaneceu até maio sob a co-orientação do Dr. Horacio Leandro Gonda. Foi submetido à banca de defesa da Dissertação de Mestrado em março de 2016.