



WILLIAM DRÖSE

**EFEITO DO PASTEJO SOBRE AS ASSEMBLEIAS DE
FORMIGAS NOS CAMPOS SULINOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Área de Concentração: Biodiversidade

Orientador: Prof. Dr. Milton de Souza Mendonça Jr.

Co-orientador: Dr. Adriano Cavalleri

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

PORTO ALEGRE

2015

**EFEITO DO PASTEJO SOBRE AS ASSEMBLEIAS DE FORMIGAS
NOS CAMPOS SULINOS**

WILLIAM DRÖSE

Aprovada em ____ de _____ de _____.

Prof. Dr. Cristiano Agra Iserhard

Dr. João Luis Osório Rosado

Profa. Dra. Sandra Cristina Müller

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por todo amor, carinho e educação com o qual fui criado. Também ao meu irmão, por todo companheirismo, amizade, gargalhadas e momentos de diversão. Obrigado por sempre apoiarem minhas decisões e estarem ao meu lado. Mesmo sabendo que a distância muitas vezes é a maior inimiga de vocês, nunca deixaram de me incentivar a correr atrás dos meus objetivos. Vocês são parte de todas as minhas conquistas!

Ao meu orientador, Milton Mendonça, por ter aberto espaço para mais um “formigólogo” no seu Laboratório. Além disso, pelos ensinamentos, compreensão e por estar sempre presente e poder contar com seu apoio quando precisava.

Ao meu co-orientador, Adriano Cavalleri, pela parceria e pela amizade ao longo destes dois anos. Sempre prestativo e disposto a me ajudar. Tenho certeza que aprendi muito contigo nesse período, e que pude crescer não só profissionalmente, mas também pessoalmente.

À Luciana Podgaiski, que indiretamente, influenciou na minha decisão de escolher a UFRGS para realizar o mestrado e continuar trabalhando com as formigas dos pampas. Obrigado por toda ajuda, aprendizado e dedicação. Tenho uma visão completamente diferente da ecologia e da estatística hoje, e isso é graças a ti.

À todos os colegas e amigos do Laboratório de Ecologia de Interações, que desde que cheguei me senti “acolhido” por esse povo alto astral e sempre de bem com a vida. Conversas, risadas, almoços, festinhas... é muito bom trabalhar e conviver com vocês.

À minha parceira de PELD, Camila Dias, que desde o início se tornou uma grande amiga e companheira, dividindo não só os momentos bons, mas também as angústias e incertezas dessa trajetória. Estes dois anos não teriam sido tão divertidos se tu não tivesse feito parte deles.

Ao Murilo David, futuro mirmecólogo, pela grande ajuda com as formigas do primeiro ano de coleta.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Feitosa, pelo auxílio na confirmação das identificações das espécies e também por estar sempre disposto a contribuir com os nossos trabalhos.

Ao Prof. Dr. Pedro Ferreira, por toda contribuição na disponibilidade dos dados da vegetação, assim como pelas conversas e discussões ao longo do trabalho.

Aos meus melhores amigos, Carolina, Juliana, Mateus, Natália, Thainá e Tiago. É muito bom saber que tenho vocês ao meu lado e que indiferentemente da distância ou do tempo ausente, nada muda na nossa amizade. Eu amo vocês!

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da UFRGS, e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Mapa do Rio Grande do Sul ilustrando as seis localidades onde foram realizadas as coletas em ambiente campestre. 1 - Aceguá; 2 - Alegrete; 3 - Lavras do Sul; 4 - São Francisco de Paula; 5 - Cambará do Sul; 6 - Jaquirana..... 34
- Figura 2** Esquema do desenho amostral em blocos de cada localidade sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC)..... 34
- Figura 3** Altura média da vegetação (a), variância da altura (b), biomassa morta (c), biomassa total (d) e cobertura de solo exposto (e) em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações..... 35
- Figura 4** Riqueza total (a) e diversidade de espécies de plantas (b) em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos, para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações..... 35
- Figura 5** Diversidade funcional de plantas (a) e valores dos atributos médios (CWM) de touceiras (b), lenhosas (c), *forbs* (d) e rosetas eretas (e) em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos, para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações..... 36
- Figura 6** Diagramas de ordenação de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) com dados de presença/ausência de formigas nas amostragens de 2011 (a), 2012 (b) e 2013 (c) em seis localidades do Rio Grande do Sul: AC (Aceguá), AL (Alegrete), CA (Cambará do Sul), JA (Jaquirana), LA (Lavras do Sul) e SF (São Francisco de Paula). Os diferentes manejos estão representados por formas geométricas: sustentável (triângulos), convencional (círculos) e exclusão (quadrados). Foram utilizadas 10.000 permutações para os fatores: localidades e tipo de manejo..... 37
- Figura 7** Abundância (a), riqueza absoluta (b), diversidade (c) e riqueza rarefeita de espécies (d) de formigas em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos, para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações..... 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Lista de espécies de formigas coletadas durante três anos com armadilhas de queda (<i>pitfall trap</i>) e rede de varredura (<i>sweep net</i>) em ambientes campestres dos biomas Pampa e Mata Atlântica no Rio Grande do Sul, baseada em presença/ausência. Localidades: Aceguá (AC), Alegrete (AL), Lavras do Sul (LA), Cambará do Sul (CA), Jaquirana (JA) e São Francisco de Paula (SF). Tipos de manejo por pastejo: Sustentável (S), Convencional (C) e Exclusão (E).....	39
Tabela 2 Correlações simples entre variáveis respostas (formigas) e explicativas (vegetação) encontradas em ambientes campestres no primeiro ano de manejo (2011). Apenas correlações com $p < 0,05$ são apresentadas. Legenda: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$	42
Tabela 3 Correlações simples entre variáveis respostas (formigas) e explicativas (vegetação) encontradas em ambientes campestres no segundo ano de manejo (2012). Apenas correlações com $p < 0,05$ são apresentadas. Legenda: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$	42
Tabela 4 Correlações simples entre variáveis respostas (formigas) e explicativas (vegetação) encontradas em ambientes campestres no terceiro ano de manejo (2013). Apenas correlações com $p < 0,05$ são apresentadas. Legenda: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$	42

SUMÁRIO

RESUMO	08
INTRODUÇÃO GERAL	09
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
Capítulo 1 – Respostas das assembleias de formigas a diferentes tipos de manejo pastoril em uma escala temporal nos campos do sul do Brasil	15
Resumo.....	15
Introdução.....	16
Materiais e Métodos.....	18
<i>Área de estudo</i>	18
<i>Amostragem da mirmecofauna</i>	19
<i>Amostragem da vegetação e estrutura do habitat</i>	20
<i>Análise dos dados</i>	20
Resultados.....	21
<i>Mirmecofauna</i>	21
<i>Estrutura do habitat e vegetação</i>	22
<i>Resposta das formigas ao manejo</i>	23
<i>Correlações entre vegetação e formigas</i>	23
Discussão.....	24
Agradecimentos.....	28
Referências Bibliográficas.....	28
CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
ANEXOS	44

RESUMO

A conservação da biodiversidade aliada ao uso sustentável dos ecossistemas é considerada um grande desafio. A atividade pastoril é um dos principais tipos de uso da terra e cobre cerca de 25% da superfície terrestre. No entanto, apenas recentemente é que a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas surgiu como preocupação em função desta prática. Os Campos Sulinos são ambientes do sul do Brasil que abrigam uma ampla riqueza de espécies. As formigas desempenham papéis essenciais nestes ecossistemas campestres e são fortemente recomendadas para avaliar efeitos do manejo da terra. Desta forma, foi avaliado experimentalmente o efeito de diferentes tipos de manejo pastoril sobre as assembleias de formigas nos Campos Sulinos. As coletas foram realizadas em seis localidades do Rio Grande do Sul (RS), nos anos de 2011, 2012 e 2013. Foram utilizados dois métodos amostrais: armadilhas de solo (*pitfall trap*) e rede de varredura (*sweep net*). Em cada localidade, três tipos de tratamentos foram avaliados: (i) manejo pastoril convencional, (ii) manejo pastoril sustentável e (iii) exclusão de pastejo. Foram coletadas 96 espécies de formigas, pertencentes a 28 gêneros. Houve redução significativa na abundância, riqueza e diversidade de espécies de formigas com três anos de abandono de manejo. A composição de espécies não foi afetada pelos tratamentos, apenas pelas diferentes regiões. A estrutura da vegetação e variáveis do habitat foram modificados ao longo do tempo, respondendo aos diferentes tipos de manejo pastoril. Espécies vegetais classificadas como touceiras apresentaram correlações negativas com as formigas, enquanto espécies lenhosas e *forbs* foram positivamente correlacionadas com estes organismos. Estes resultados demonstram que a ausência de manejo pastoril em campos nativos do RS afeta negativamente as assembleias de formigas, e poderão auxiliar na elaboração de futuros planos de conservação dos Campos Sulinos.

Palavras-chave: campos nativos, manejo pastoril, bioma Pampa, bioindicadores, Formicidae.

INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas campestres são ambientes que fornecem importantes serviços ambientais. Amplamente distribuídos, campos e savanas cobrem cerca de 40% da superfície terrestre (Sala 2001). No sul do Brasil, o Rio Grande do Sul (RS) é o estado com maior extensão destas áreas. Sua vegetação está dividida em oito regiões fitoecológicas, sendo 62% destas formadas por áreas campestres (Cordeiro e Hasenack 2009). Estes ambientes estão distribuídos desde a região oeste e sul do estado, pertencentes ao bioma Pampa, até a região norte, fazendo parte também do bioma Mata Atlântica (Bilenca e Miñarro 2004).

As áreas campestres do sul do Brasil são frequentemente denominadas de Campos Sulinos. Os Campos Sulinos correspondem a todas as formações campestres presentes no Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e RS (Vélez et al. 2009). O clima úmido atual destas regiões fornece condições apropriadas para o estabelecimento de paisagens florestais. No RS, por exemplo, o clima é temperado e úmido (Köppen 1948), com pluviosidade elevada e relativamente bem distribuída ao longo do ano. No entanto, registros palinológicos comprovam que os campos desta região são naturais, e foram parte de uma vegetação de um clima mais frio e seco no passado, antes das primeiras expansões florestais ocorrerem (Behling et al. 2009).

Historicamente, a dinâmica dos ecossistemas campestres tem sido associada com determinados distúrbios, como o pastejo e o fogo. Há evidências de que os campos do RS originalmente sustentavam uma megafauna pastadora, a qual foi extinta durante o Pleistoceno. Até a introdução do gado por colonizadores europeus, os organismos pastadores destes ambientes foram animais de pequeno porte, como veados, emas, capivaras e pequenos roedores (Behling et al. 2009; Pillar et al. 2010). Atualmente, o pastejo por gado doméstico é uma das principais atividades econômicas do RS (Nabinger et al. 2000) e o principal fator mantenedor das propriedades ecológicas dos campos (Coughenour 1991; Pillar e Quadros 1997). Segundo Crawshaw et al. (2007), a ampla distribuição das áreas de campo nativo ainda existentes é devido ao pastejo, o qual pode ser considerado como um dos poucos exemplos de atividade economicamente viável e sustentável, quando manejado adequadamente.

Em áreas tradicionais de pastejo manejado, normalmente é mantido um número de herbívoros de grande porte acima da capacidade de suporte do ambiente, podendo ocasionar o sobrepastejo (Carvalho e Batello 2009). Este fato pode ser prejudicial ao

campo, ocasionando diminuição da cobertura do solo e riscos de erosão, além de perda de espécies forrageiras de boa qualidade (Nabinger et al. 2000). Da mesma forma, a ausência total de distúrbios também pode gerar consequências para as comunidades campestres. Algumas espécies de plantas estão associadas a determinados níveis de distúrbio para se manter na comunidade. Áreas excluídas de distúrbios favorecem o estabelecimento de espécies cespitosas e arbustos, que são boas competidoras por luz, inibindo o crescimento de herbáceas e outras gramíneas de pequeno porte (Overbeck et al. 2005). Estes resultados foram observados tanto para áreas excluídas de pastejo (Baldissera et al. 2010), quanto áreas excluídas do fogo (Fidelis et al. 2007) no RS. Desta forma, estratégias de conservação são necessárias para o estabelecimento de manejo pastoril sustentável, como pastagens com baixa intensidade de carga animal ou regimes de pastejo rotacionado, encontrando um equilíbrio entre produção forrageira e biodiversidade dos campos nativos (Klimek et al. 2007; Overbeck et al. 2007).

Independentemente do tipo de manejo, a atividade pastoril desencadeia efeitos diretos e indiretos sobre as comunidades campestres. Além da vegetação que é diretamente afetada pelo pastejo, a organização das assembleias de artrópodes também reflete os efeitos deste distúrbio. Grandes herbívoros pastadores podem influenciar estas assembleias diretamente através do pisoteio, ingestão acidental ou pelo efeito de resíduos, como fezes, urina e até mesmo sangue ou carcaças (van Klink et al. 2014). Indiretamente, o desfolhamento leva a uma diminuição da altura e complexidade estrutural da vegetação, assim como alterações em propriedades do solo que podem afetar a disponibilidade de nutrientes, umidade e textura (Forbes et al. 2005). Por se tratar de um táxon diversificado, estes efeitos podem ser positivos, negativos ou neutros, dependendo do grupo de artrópodes avaliado (Joern e Laws 2013). Por exemplo, a heterogeneidade causada por mudanças estruturais na vegetação para um grupo pode ser percebida como a fragmentação do habitat por outro grupo taxonômico (Tews et al. 2004). De qualquer forma, o impacto de efeitos diretos sobre as comunidades de artrópodes é pequeno em relação as consequências causadas pelos efeitos indiretos (van Klink et al. 2014).

Um táxon que desempenha importantes funções em ambientes campestres são as formigas. Estes organismos são responsáveis pela aeração do solo, ciclagem de nutrientes, atuam como importantes predadores e estão envolvidos com diversos processos ecossistêmicos (Folgarait 1998). O pastejo também pode afetar as formigas de diversas formas. Os efeitos diretos deste distúrbio sobre as assembleias são raros (Andersen e Majer 2004). No entanto, mudanças nas características do solo são responsáveis por afetar

as assembleias, uma vez que a maioria das espécies de formigas constroem seus ninhos no solo (Wang et al. 2001). A textura e a compactação devido ao pisoteio pode alterar a umidade e interferir na arquitetura dos ninhos (Boulton et al. 2005). Além disso, efeitos do pastejo na estrutura da vegetação, disponibilidade de alimentos e interações competitivas também são responsáveis por afetar as assembleias destes organismos (Andersen 1995).

As formigas tem sido frequentemente utilizadas para avaliar os efeitos de perturbações e distúrbios em ambientes naturais por serem amplamente distribuídas, altamente diversificadas e de fácil amostragem (Hölldobler e Wilson 1990; Andersen et al. 2004). Devido à ausência de respostas em alguns casos, tem sido proposto que as alterações nas comunidades de formigas são dependentes da extensão de mudanças na estrutura física do habitat. Assim, perturbações que apresentem um impacto fraco sobre o ambiente podem causar respostas limitadas nas assembleias de formigas (Hoffmann et al. 2000; Read e Andersen 2000; Hoffmann 2003; Nash et al. 2004). No entanto, o emprego destes organismos é recomendado de forma confiável em algumas situações, como na avaliação dos efeitos do uso da terra e mudanças nos ecossistemas a longo prazo (Underwood e Fischer 2006).

Apenas recentemente é que a manutenção da biodiversidade e funções do ecossistema surgiram como preocupações em relação ao manejo pastoril nos campos do sul do Brasil. Políticas para a conservação destes ecossistemas ainda estão em andamento, e pesquisas nestes ambientes são fundamentais. O pastejo como uma das principais atividades econômicas do RS e sua importância como fator mantenedor das propriedades ecológicas dos campos nativos, tornam esta atividade de grande interesse para investigação. Os efeitos do pastejo sobre comunidades vegetais estão sendo bem documentados no RS, contudo, há uma carência de informações para comunidades animais dos campos, em especial aos invertebrados.

Sendo assim, esta dissertação objetivou avaliar o efeito de diferentes tipos de manejo pastoril sobre a abundância, riqueza, diversidade e composição de espécies de formigas em seis áreas de campos nativos do RS. Os resultados são apresentados na forma de um único artigo, o qual será submetido ao periódico *Biodiversity and Conservation*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen AN (1995) A classification of Australian ant communities, based on functional-groups which parallel plant life-forms in relation to stress and disturbance. *Journal of Biogeography* 22:15-29.
- Andersen AN, Fisher A, Hoffmann BD, Read JL, Richards R (2004) Use of terrestrial invertebrates for biodiversity monitoring in Australian rangelands, with particular reference to ants. *Austral Ecology* 29:87-92.
- Andersen AN, Majer JD (2004) Ants show the way Down Under: invertebrates as bioindicators in land management. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2:291-298.
- Baldissera R, Fritz L, Rauber R, Müller SC (2010) Comparison between grassland communities with and without disturbances. *Neotropical Biology and Conservation* 5:3-9.
- Behling H, Jeske-Pieruschka V, Schüler L, Pillar VP (2009) Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: Pillar VP, Müller SC, Castilhos ZMS, Jacques AVA (ed) *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. MMA, Brasília, pp 13-25
- Bilenca DN, Miñarro FO (2004) Áreas valiosas de pastizal em las pampas y campos de Argentina, Uruguay e sur de Brasil. *Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires*
- Boulton AM, Davies KF, Ward PS (2005) Species Richness, Abundance, and Composition of Ground-Dwelling Ants in Northern California Grasslands: Role of Plants, Soil, and Grazing. *Environmental Entomology* 34:96-104.
- Carvalho PCDF, Batello C (2009) Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. *Livestock Science* 120:158-162.
- Cordeiro JLP, Hasenack H (2009) Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: Pillar VP, Müller SC, Castilhos ZMS, Jacques AVA (ed) *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. MMA, Brasília, pp 285-300
- Coughenour MB (1991) Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, raching and native ungulate ecosystems. *Journal Range Management* 44:530-541.
- Crawshaw D, Dall'Agnol M, Cordeiro JLP, Hasenack H (2007) Caracterização dos campos Sul-Rio-Grandenses: uma perspectiva da Ecologia da Paisagem. *Boletim Gaúcho de Geografia* 33:233-252.
- Fidelis A, Müller SC, Pillar VP, Pfadenhauer J (2007) Efeito do fogo na ecologia de populações de herbáceas e arbustos dos Campos Sulinos. *Revista Brasileira de Biociências* 5:303-305.

- Folgarait PJ (1998) Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation* 7:1221-1244.
- Forbes GS, Van Zee JW, Smith W, Whitford WG (2005) Desert grassland canopy arthropod species richness: temporal patterns and effects of intense, short-duration livestock grazing. *Journal of Arid Environments* 60:627-646.
- Hoffmann BD, Griffiths AD, Andersen AN (2000) Responses of ant communities to dry sulfur deposition from mining emissions in semi-arid tropical Australia, with implications for the use of functional groups. *Austral Ecology* 25:653-663.
- Hoffmann BD (2003) Responses of ant communities to experimental fire regimes on rangelands in the Victoria River District of the Northern Territory. *Austral Ecology* 28:182-195.
- Hölldobler B, Wilson EO (1990) *The Ants*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts
- Joern A, Laws NA (2013) Ecological Mechanisms Underlying Arthropod Species Diversity in Grasslands. *Annual Review of Entomology* 58:19-36.
- Klimek S, Kemmermann AR, Hofmann M, Isselstein J (2007) Plant species richness and composition in managed grasslands: The relative importance of field management and environmental factors. *Biological Conservation* 134:559-570.
- Köppen W (1948) *Climatologia*. Fundación de Cultura Económica, México
- Nabinger C, Moraes A, Maraschin GE (2000) Campos in Southern Brazil. In: Lemaire G, Hodgson JG, Moraes A, Maraschin GE (ed) *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI Publishing Wallingford, pp 355-376
- Nash MS, Bradford DF, Franson SE, Neale AC, Whitford WG, Heggem DT (2004) Livestock grazing effects on ant communities in the eastern Mojave Desert, USA. *Ecological Indicators* 4:199-213.
- Overbeck GE, Müller SC, Pillar VP, Pfadenhauer J (2005) Fine-scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grasslands. *Journal of Vegetation Science* 16:655-664.
- Overbeck GE, Müller SC, Fidelis A, Pfadenhauer J, Pillar VP, Blanco CC, Boldrini II, Both R, Forneck ED (2007) Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9:101-116.
- Pillar VP, Quadros FLF (1997) Grassland-forest boundaries in Southern Brazil. *Coenoses* 12:119-126.
- Pillar VP, Véllez E (2010) Extinção dos Campos Sulinos em Unidades de Conservação: um Fenômeno Natural ou um Problema ético? *Natureza & Conservação* 8:84-86.

- Read JL, Andersen AN (2000) The value of ants as early warning bioindicators: responses to pulsed cattle grazing at na Australian arid zone locality. *Journal of Arid Environments* 45:231-251.
- Sala O (2001) Temperate grasslands. In: Chapin F, Sala O, Huber-Sannvald E (ed) *Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the 21st Century*, Springer, New York, pp 121-137
- Tews J, Brose U, Grimm V, Tielbörger K, Wichmann MC, Schwager M, Jeltsch F (2004) Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31:79-92.
- Underwood EC, Fisher BL (2006) The role of ants in conservation monitoring: If, when, and how. *Biological Conservation* 132:166-182.
- van Klink R, van der Plas F, van Noordwijk CGE, Wallis De Vries MF, Olf H (2014) Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity. *Biological Reviews*.
- Vélez E, Chomenko L, Schaffer W, Madeira M (2009) Um panorama sobre as iniciativas de conservação dos Campos Sulinos. In: Pillar VP, Müller SC, Castilhos ZMS, Jacques AVA (ed) *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. MMA, Brasília, pp 356-379
- Wang C, Strazanac JS, Butler L (2001) Association between ants (Hymenoptera: Formicidae) and habitat characteristics in oak-dominated mixed forests. *Environmental Entomology* 30:842-848.

Capítulo 1

Normas editoriais Biodiversity and Conservation (anexo I)

Respostas das assembleias de formigas a diferentes tipos de manejo pastoril em uma escala temporal nos campos do sul do Brasil

Dröse, W.¹, Cavalleri, A.¹, Podgaiski, L. R.¹, Ferreira, P. M. A.² & Mendonça, M. S. Jr.¹

¹Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Setor de Botânica, Faculdade de Biociências, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

William Dröse

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Av. Bento Gonçalves 9500, prédio 43422, bairro Agronomia, CEP 91501-970, Porto Alegre (RS), Brasil.

william_drose@hotmail.com

+55 53 91652330

RESUMO

A atividade pastoril é um dos principais tipos de uso da terra, e seus efeitos sobre ambientes campestres naturais podem fornecer heterogeneidade espacial, maximizando a biodiversidade. No entanto, apenas recentemente é que a manutenção das comunidades campestres surgiu como preocupação em função desta prática. Nosso trabalho avaliou experimentalmente o efeito de diferentes tipos de manejo pastoril sobre as assembleias de formigas no sul do Brasil. Foram realizadas coletas com *pitfall* e rede de varredura (*sweep net*) em seis localidades do Rio Grande do Sul (RS). Em cada localidade foram instalados três tipos de manejo pastoril: (i) manejo pastoril convencional; (ii) manejo pastoril sustentável e (iii) exclusão de manejo. Foram amostradas 96 espécies de formigas, distribuídas em 28 gêneros. Nossos resultados demonstram que o abandono de manejo em ambientes campestres naturais do RS diminui a abundância, riqueza e diversidade de espécies de formigas. No entanto, a composição de espécies não é afetada pelos

tratamentos, apenas pelas diferentes regiões. Além disso, espécies de plantas cespitosas estão negativamente correlacionadas com as formigas, enquanto *forbs* e lenhosas são positivamente correlacionadas com estes organismos. Nossos resultados evidenciam a importância do manejo pastoril em campos naturais no sul do Brasil, visando a manutenção destes habitats e conservação de espécies de formigas.

Palavras-chave: Formicidae, bioindicadores, Campos Sulinos, pastejo, distúrbio.

INTRODUÇÃO

Entre os diversos tipos de uso da terra, o manejo pastoril é a atividade predominante em mais de 25% da superfície terrestre (Asner et al. 2004). Em áreas campestres naturais, esta atividade é um dos principais fatores que auxiliam na manutenção das propriedades ecológicas destes ambientes (Coughenour 1991; Pillar e Quadros 1997; Overbeck et al. 2007). O distúrbio causado pelo pastejo, assim como a intensidade deste, fornece heterogeneidade do habitat através do pisoteio e da remoção seletiva de espécies por grandes herbívoros. Essa heterogeneidade possibilita maior disponibilidade de recursos e microclimas, e assim, uma maior biodiversidade (Milchunas et al. 1988). Este distúrbio também pode evitar o estabelecimento de espécies exóticas, o domínio por espécies competidoras, além de impedir a sucessão florestal, evitando a fragmentação destes habitats (Hobbs e Huenneke 1992). Muitas áreas de campos naturais atualmente são mantidas com suas características originais devido a atividade pastoril. No entanto, variações na intensidade e na frequência do distúrbio causadas pelo pastejo podem ser prejudiciais às comunidades campestres (Coppedge et al. 2008).

A busca pelo uso sustentável dos recursos, aliada a conservação da biodiversidade, é um dos grandes desafios atuais. Estudos demonstram que características do habitat e condições ambientais aumentam em intensidades de pastejo intermediário, mas declinam, tanto na baixa quanto na alta intensidade (van Klink et al. 2014). Riscos de erosão e diminuição da cobertura vegetal são algumas consequências do pastejo excessivo (Nabinger et al. 2000). Também foi relatada menor riqueza de espécies de artrópodes (Kruess e Tschamtko 2002; Wallis De Vries et al. 2007) e menor diversidade de formigas (Folgarait 1998) em ambientes campestres com alta intensidade de pastejo. Apesar da necessidade de um equilíbrio entre uma intensidade alta e baixa, a ausência total de distúrbio pode ter consequências ainda mais graves para campos naturais. Áreas excluídas de manejo estão sujeitas a invasão por espécies lenhosas (arbustos e subarbustos)

e a dominância por cespitosas (touceiras) (Overbeck et al. 2005; Fidelis et al. 2007; Baldissera et al. 2010). Estas espécies são consideradas boas competidoras por luz, e inibem o crescimento de espécies de pequeno porte, como espécies prostradas e herbáceas (Overbeck et al. 2007). A alta dominância de touceiras também impede o estabelecimento de estratos mais baixos de vegetação, reduzindo a riqueza e diversidade de plantas (Ferreira 2014). Apesar da necessidade de maiores evidências, um pastejo não muito intenso e nem completamente ausente tem sido considerado como o mais adequado para manter a biodiversidade de campos naturais.

Os artrópodes são organismos abundantes e que desempenham importantes funções nos ecossistemas campestres (Whiles e Charlton 2006). Por se tratar de um grupo altamente diverso, que apresenta uma grande variedade de histórias de vida, é evidente que alguns táxons diferem nas respostas às mudanças do habitat (Oertli et al. 2005; Debinski et al. 2011). As formigas são um grupo frequentemente utilizado para avaliar as respostas ecológicas à perturbação. Estes organismos em ambientes campestres são responsáveis por alterar as propriedades do solo, influenciar a composição da comunidade vegetal, atuar como importantes predadoras e participar de outros processos ecossistêmicos (Folgarait 1998). Em uma recente revisão de trabalhos que utilizaram formigas como ferramenta de estudo para avaliar os efeitos do pastejo, foram encontrados quatro padrões globais de respostas destes organismos: (i) tipo de solo e vegetação são elementos determinantes da composição das comunidades de formigas, e frequentemente tem um efeito maior neste parâmetro de diversidade do que o distúrbio; (ii) distúrbio induz mudanças na composição de espécies, mas não necessariamente afeta a abundância e a riqueza de formigas; (iii) resposta das espécies não é necessariamente consistente em todos os habitats devido a uma variação própria de cada habitat; (iv) aproximadamente um quarto a metade das espécies que são comuns o suficiente para serem analisadas estatisticamente apresentam respostas significativas ao distúrbio (Hoffmann 2010). Com estes resultados, Hoffmann (2010) afirma que as formigas são um táxon promissor para o monitoramento de mudanças no uso da terra, em especial, ao manejo pastoril.

No sul do Brasil, os ecossistemas predominantes da região são campos nativos subtropicais. Estes campos no estado do Rio Grande do Sul (RS) estão divididos em dois biomas: Pampa e Mata Atlântica. A região do Pampa é formada basicamente por pastagens naturais, enquanto a região da Mata Atlântica é frequentemente composta por mosaicos de campos e florestas de araucária (Behling et al. 2009). As áreas campestres ocupam cerca de 62% do estado, sendo que grande parte está associada à pecuária, uma das principais atividades econômicas da região (Nabinger et al. 2000). Diferentemente dos ecossistemas

campestres australianos e europeus, as consequências do pastejo no sul do Brasil ainda são pouco conhecidas, especialmente com relação aos invertebrados.

Sendo assim, este trabalho objetivou verificar como o manejo pastoril e as consequentes mudanças na estrutura do habitat e vegetação podem afetar os padrões de organização das assembleias de formigas ao longo do tempo. Foram testadas as seguintes hipóteses: (i) composição de espécies de formigas será afetada tanto pelo tipo de manejo quanto pelas regiões; (ii) parcelas de exclusão do pastejo irão levar a uma diminuição na abundância, riqueza e diversidade de formigas, enquanto que parcelas de manejo sustentável irão levar a um aumento destas mesmas variáveis; (iii) o grupo de plantas classificadas como touceiras irá afetar negativamente a abundância, riqueza e diversidade de formigas, enquanto que os grupos *forbs*, lenhosas e rosetas eretas positivamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

Este trabalho faz parte de um projeto de pesquisa ecológica de longa duração (PELD - Campos Sulinos) em campos nativos no sul do Brasil. As coletas foram realizadas em seis localidades do RS, nos meses de novembro e dezembro de 2011, 2012 e 2013. Os sítios de Aceguá (31°38'55"S, 54°09'26"W), Alegrete (30°04'11"S, 55°59'34"W) e Lavras do Sul (30°42'02"S, 53°58'53"W) localizam-se no bioma Pampa, enquanto os sítios de Cambará do Sul (29°08'19"S, 50°09'27"W), Jaquirana (29°05'43"S, 50°22'02"W) e São Francisco de Paula (29°23'35"S, 50°14'26"W) no bioma Mata Atlântica (Fig. 1).

Em cada localidade foi estabelecido um bloco de 210x70 m, dividido em três parcelas de 70x70 m (Fig. 2). Cada parcela foi submetida a um tratamento: (i) manejo pastoril convencional; (ii) manejo pastoril sustentável; ou (iii) exclusão de manejo. O tratamento (i) representa o manejo tradicional de cada localidade, sem ajuste sistemático da carga animal à oferta de forragem. O tratamento (ii) foi cercado, e o acesso do gado à parcela controlado, simulando o pastejo rotativo. O tratamento (iii) também foi cercado, porém, excluindo completamente a entrada de animais à parcela.

O critério utilizado para determinar o intervalo de acesso do gado ao tratamento (ii) foi baseado na soma térmica de 750 graus dia acumulados por local. O número de animais e o tempo de permanência na parcela corresponde a um resíduo de biomassa aérea de cerca de 1.200 kg por hectare para a primavera/verão, e 1.500 kg para o outono/inverno. Este intervalo visa manter a contribuição de gramíneas

conservadoras de recursos na comunidade, promovendo maior heterogeneidade e menor acúmulo de biomassa morta (Quadros et al. 2006; Soussana 2009).

Foi estimada a pressão de pastejo para cada local em unidades animais (UA = 450 kg de peso vivo) por hectare: Aceguá (1,05 UA), Alegrete (0,9 UA), Lavras do Sul (0,85 UA), Cambará do Sul (0,9 UA), Jaquirana (0,45 UA) e São Francisco de Paula (0,6 UA).

Amostragem da mirmecofauna

Foram utilizados dois métodos amostrais: armadilha de queda (*pitfall trap*) para coletar as assembleias do solo e rede de varredura (*sweep net*) para as assembleias da vegetação. Foi realizada uma coleta por ano em cada localidade.

Em cada tratamento foram instalados oito *pitfalls*, com uma distância mínima de 15 m da borda dos tratamentos e entre os pontos amostrais. Cada armadilha era composta de um frasco plástico de 500 ml, preenchidos com aproximadamente 150 ml de formalina (formaldeído 3%) para a captura e conservação das formigas. As armadilhas foram enterradas ao nível do solo e permaneceram durante sete dias em campo. Após esse período, todo material foi acondicionado em álcool 80% e transportado para o Laboratório de Ecologia de Interações da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para posterior triagem e identificação.

Para o método de rede de varredura foram realizadas quatro transecções em cada parcela de cada bloco, onde a rede foi acionada 30 vezes em movimentos de pêndulo em cada transecção. Os organismos coletados foram acondicionados em sacos plásticos contendo acetato de etila, e em seguida, transferidos para recipientes contendo álcool 80%.

As formigas foram identificadas em gênero com o uso da chave dicotômica de Palacio e Fernández (2003). Para a classificação das espécies foram utilizadas chaves de grupos específicos (Gonçalves 1961; Kempf 1965; Watkins 1976; Wilson 2003; Longino e Fernández 2007; Wild 2007) e através de comparação com o material disponível na coleção do Laboratório de Ecologia de Interações. Exemplares que não foram identificados em nível específico permaneceram como morfoespécies. Todas as identificações foram confirmadas por especialista do grupo.

Amostragem da vegetação e estrutura do habitat

Em cada tratamento, foram marcados permanentemente nove subparcelas de 1 m², distribuídas sistematicamente em uma grade de 3x3 com 17 m entre as subparcelas. Foram amostradas todas as espécies vegetais em cada subparcela, além de estimar-se a cobertura de solo exposto e a biomassa morta. Todas as espécies vegetais foram classificadas em formas de vida: *forbs*, lenhosas, rosetas eretas e touceiras. O grupo *forbs* é formado por espécies prostradas e pequenas ervas; lenhosas são compostas por arbustos e subarbustos; rosetas eretas por herbáceas com hábito de roseta (p.e. *Eryngium* spp.); e touceiras por gramíneas altas cespitosas.

Em cada subparcela, foi medida a altura da vegetação em cinco pontos, e realizada uma média por tratamento. Foi calculada também a variância da altura da vegetação para cada tratamento. Em um quadrado de 0,5 m² por subparcela, foi coletada a biomassa aérea total. Em laboratório, a biomassa total foi lavada em água corrente para remoção de terra e resíduos, seca em estufa a 47° C durante 48 horas, e pesada em balança analítica.

Análise de dados

Para realizar a análise dos dados foi levado em consideração o tempo do início dos tratamentos, sendo cada ano de amostragem analisado separadamente. Desta forma, as coletas realizadas em 2011 representam o efeito de um ano de experimento, assim como 2012 e 2013 representam, respectivamente, dois e três anos de experimento. As formigas coletadas com *pitfall* e rede de varredura em cada ano foram agrupadas para a análise dos dados. Em Cambará do Sul, os tratamentos foram instalados apenas em 2012. Por isso, o efeito de três anos de experimento é avaliado em apenas cinco localidades.

Para explorar como a composição de espécies de formigas responde aos diferentes tratamentos e regiões, foram realizadas ordenações das unidades amostrais através do escalonamento multidimensional não métrico (NMDS), utilizando o índice de Jaccard como medida de similaridade para a presença/ausência das espécies. As composições foram testadas através de uma análise de similaridade (ANOSIM) de dois fatores (tratamentos e regiões), com base em 10.000 permutações. Estes dados foram analisados através do software PAST (Hammer et al 2001).

Para a abundância total de indivíduos, foram considerados os dados dos oito *pitfalls* e a amostragem de rede de varredura de cada tratamento. A abundância das espécies de formigas foi transformada ($\log x+1$) para evitar distorções dos dados causado por numerosos indivíduos de uma mesma colônia, quando

armadilhas são instaladas próximas de ninhos ou trilhas de forrageamento (Andersen 1991). A riqueza observada refere-se a riqueza total de espécies por tratamento. A riqueza rarefeita foi calculada baseada em indivíduos para cada amostra. A análise de diversidade de formigas foi calculada através do índice de Simpson. Dados de riqueza observada e diversidade de Simpson de plantas também foram analisados. Todos esses índices foram calculados no programa PAST (Hammer et al. 2001).

Associações entre as variáveis respostas (formigas) e explicativas (vegetação e estrutura do habitat) foram testadas através da análise de variância (ANOVA) entre os tratamentos. Foram realizadas ANOVAS de dois fatores (blocos e tratamentos) para cada ano amostral, com 10.000 permutações, através do software MULTIV (Pillar 2006).

Para as análises funcionais da vegetação, foram considerados como atributos os quatro grupos estabelecidos (*forbs*, lenhosas, rosetas eretas e touceiras). Foram calculados os atributos médios das comunidades (CWM – *Community Weighted Mean*), e utilizada a entropia quadrática de Rao como índice de diversidade funcional (DF). Para obter estes valores, foram organizadas duas matrizes: **B** e **W**. A matriz **B** representa as espécies de plantas pelos seus grupos. A matriz **W** é composta pelas espécies em relação as suas comunidades. A multiplicação dessas matrizes resulta em uma matriz **T**. Essa matriz possui os valores dos atributos médios de cada comunidade, ou seja, a proporção de cada grupo ponderado pela cobertura das espécies na comunidade (em cada tratamento). Além disso, também foram calculados os valores de diversidade funcional de plantas (Rao). Todas as análises de diversidade funcional foram realizadas no software SYNCSA (Pillar 2004).

Foram realizadas correlações simples entre as variáveis respostas de formigas com as variáveis de habitat e composição (CWM) e diversidade funcional de plantas (Rao). Todas as correlações foram aleatorizadas (10.000 permutações) e testadas no software MULTIV (Pillar 2006).

RESULTADOS

Mirmecofauna

Foram coletados 25.183 indivíduos, distribuídos em 96 espécies, 28 gêneros e oito subfamílias (Tabela 1). Myrmicinae foi a subfamília com o maior número de espécies (54 espécies), seguida de Formicinae (17 espécies), Ponerinae (11 espécies), Dolichoderinae (nove espécies), Dorylinae e Ectatomminae (três espécies cada) e Heteroponerinae e Pseudomyrmecinae (uma espécie cada). Os gêneros

com maior número de espécies foram *Pheidole* Westwood, 1839 (16 espécies), *Solenopsis* Westwood, 1840 (13 espécies), *Hypoponera* Santschi, 1938 (oito espécies) e *Camponotus* Mayr, 1861 (sete espécies).

O número de espécies observadas por localidade variou de 31 (Cambará do Sul) até 65 (Alegrete). Foram registradas 93 espécies nas armadilhas *pitfall* e 54 com o uso de rede de varredura. Apenas seis espécies ocorreram exclusivamente na rede de varredura. Os sítios localizados no bioma Pampa apresentaram uma maior riqueza (86 espécies) comparado aos sítios do bioma Mata Atlântica (55 espécies). Da mesma forma, um maior número de espécies exclusivas foi registrado para as áreas do Pampa (41 espécies) do que para a Mata Atlântica (10 espécies). Foram compartilhadas 45 espécies de formigas entre as áreas dos dois biomas. *Gnamptogenys rastrata* (Mayr, 1866) foi a única espécie que apresentou um padrão entre tratamentos, ocorrendo apenas em parcelas de manejo sustentável e exclusão.

Estrutura do habitat e vegetação

A estrutura da vegetação das parcelas experimentais se modificou ao longo do tempo, respondendo ao tipo de manejo. A altura média da vegetação diferiu significativamente nos três anos de experimento, mas houve pouca variação ao longo do tempo no tratamento convencional. Nas parcelas de exclusão a altura aumentou a partir do segundo ano, enquanto que no sustentável diminuiu (Fig. 3a). A variância da altura da vegetação foi maior nas parcelas sustentável e exclusão, com diferenças significativas apenas no primeiro e terceiro ano (Fig. 3b). A biomassa morta (Fig. 3c) e a biomassa total (Fig. 3d) aumentaram significativamente com o passar do tempo nas parcelas de manejo sustentável e exclusão. A cobertura de solo exposto foi significativamente maior no tratamento convencional apenas no primeiro ano de manejo, havendo um decréscimo constante no segundo e no terceiro ano (Fig. 3e).

A riqueza de espécies vegetais diminuiu significativamente a partir do segundo ano de manejo nas parcelas de exclusão. Os tratamentos convencional e sustentável não diferiram ao longo do tempo (Fig. 4a). Quanto a diversidade de plantas (Simpson), houve uma diminuição constante na exclusão, porém, diferenças significativas entre tratamentos foram encontradas apenas no primeiro ano de manejo (Fig. 4b).

A diversidade funcional (Rao) de plantas não diferiu significativamente entre os tratamentos em nenhum momento (Fig. 5a). A proporção de espécies classificadas como touceiras aumentaram nas parcelas sustentável e exclusão, com diferenças significativas no segundo e terceiro ano (Fig. 5b). A proporção de lenhosas aumentou constantemente nas parcelas de exclusão, com valores significativos para os três anos de manejo (Fig. 5c). *Forbs* diferiram significativamente em todos os anos, com uma proporção maior deste

grupo no tratamento convencional (Fig. 5d). Não foram encontradas diferenças significativas entre tratamentos para as espécies de rosetas eretas (Fig. 5e).

Respostas das formigas ao manejo

O NMDS demonstrou um padrão semelhante na composição de espécies nos três anos de experimento (Fig. 6a, b, c). As assembleias estão claramente organizadas em relação às localidades (ANOSIM: 2011: $R=0,93$, $p<0,001$; 2012: $R=0,90$, $p<0,001$; 2013: $R=0,95$, $p<0,001$), e os tipos de manejo pastoril não apresentaram efeito visível na composição de espécies de formigas (ANOSIM: 2011: $R=-0,17$, $p=0,99$; 2012: $R=-0,12$, $p=0,94$; 2013: $R=-0,18$, $p=0,97$). Além disso, observou-se uma nítida separação entre os sítios dos biomas Pampa e Mata Atlântica.

Avaliando o primeiro e o segundo ano de manejo, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para as medidas de diversidade das formigas. No entanto, no terceiro ano de manejo, surgiram diferenças significativas para a abundância (Fig. 7a), riqueza absoluta (Fig. 7b) e diversidade de espécies (Fig. 7c), sendo menores nas parcelas de exclusão do pastejo. Apenas a riqueza rarefeita de formigas não diferiu entre tratamentos no terceiro ano (Fig. 7d).

Correlação entre vegetação e formigas

Com um ano de manejo, foram encontradas correlações positivas entre a cobertura de solo exposto e riqueza absoluta, riqueza rarefeita e diversidade de formigas. Além disso, a biomassa total apresentou correlações negativas com a abundância, riqueza rarefeita e diversidade de formigas. As formas de vida lenhosas e *forbs* apresentaram correlações positivas com a abundância, riqueza absoluta, riqueza rarefeita e diversidade de formigas, enquanto as touceiras foram negativamente correlacionadas com estas variáveis (Tabela 2).

No segundo ano de manejo as correlações negativas entre a biomassa total e abundância, riqueza absoluta e diversidade de formigas permaneceram. Além disso, correlações positivas entre a variância da altura da vegetação e a riqueza absoluta e riqueza rarefeita foram encontradas. Quanto as formas de vida, o grupo *forbs* manteve correlações positivas com abundância, riqueza absoluta e diversidade, enquanto as touceiras apresentaram novamente correlações negativas com estas variáveis (Tabela 3).

Com três anos de manejo a biomassa total apresentou correlação negativa apenas com a diversidade de formigas. A variância da altura da vegetação manteve correlações positivas com a riqueza rarefeita e a

riqueza absoluta de espécies de formigas. Além disso, foram encontradas correlações negativas entre a biomassa morta e a abundância e diversidade de espécies. As formas de vida lenhosas apresentaram correlações positivas com a riqueza rarefeita e a diversidade de formigas. O grupo *forbs* teve correlações positivas com a abundância, riqueza absoluta e diversidade, enquanto as touceiras foram negativamente correlacionadas com estas variáveis (Tabela 4).

DISCUSSÃO

Este trabalho comprova experimentalmente que a exclusão do manejo pastoril em áreas de campos nativos no Rio Grande do Sul afeta negativamente a abundância, riqueza e diversidade de formigas. A composição de espécies não foi afetada pelo tipo de manejo, nem mesmo ao longo do tempo. Nos Estados Unidos, um estudo comparando locais pastejados, moderadamente pastejados e excluídos de pastejo encontrou diferenças na composição de espécies de formigas entre estes locais apenas em uma das três áreas estudadas (Bestelmeyer e Wiens 2001). Em áreas campestres com gradientes de intensidades de pastejo também não foi encontrada diferença na composição de espécies de formigas (Nash et al. 2004). No entanto, entre os padrões globais destacados por Hoffmann (2010), a composição de espécies deveria ser afetada pelo tipo de pastejo (Bestelmeyer e Wiens 1996; Pihlgren et al. 2010; Hoffmann e James 2011). Um fator que pode explicar a ausência de mudanças na composição em relação aos tratamentos neste trabalho é o desenho amostral, devido o estabelecimento de parcelas contíguas. Além disso, três anos de exclusão de pastejo talvez não sejam suficientes para que o efeito das mudanças na estrutura e composição vegetal atuem como filtros ambientais sobre a composição de espécies de formigas. Porém, este é um padrão que tende a ser encontrado com o acompanhamento a longo prazo deste experimento.

No entanto, diferenças em relação as localidades foram encontradas para a composição de formigas. Estes resultados refletem evidentes padrões biogeográficos entre as regiões norte e sul do RS. Diferenças tanto na composição florística (Ferreira 2014) como em características do solo (Andrade 2014) foram relatados para estas mesmas áreas de estudo. Segundo Andrade (2014), os solos dos sítios localizados na região norte apresentam maior concentração de alumínio e diminuição do pH e fertilidade, e os sítios do sul são caracterizados por uma maior variação na textura. Em alguns casos, propriedades químicas e físicas do solo podem desempenhar um papel mais importante sobre a composição de formigas do que os efeitos do pastejo (Read e Andersen 2000; Pihlgren et al. 2010; Hoffmann e James 2011). Quando características do solo e composição de plantas foram analisadas separadamente, o solo apresentou uma forte relação com

a estrutura das comunidades de formigas em áreas pastejadas (Boulton et al. 2005). Talvez estas características do solo de cada região sejam um dos fatores responsáveis pela diferença na composição de formigas encontrada entre as localidades.

Diferenças nas medidas de diversidade das formigas foram encontradas apenas no terceiro ano de exclusão de pastejo, exceto a riqueza rarefeita, que não diferiu ao longo do tempo. Esta medida permite comparar o número de espécies de duas ou mais amostragens em níveis equivalentes de indivíduos ou esforço amostral (Gotelli et al. 2011). A rarefação baseada em indivíduos considera o menor número de organismos coletados em uma unidade amostral, desconsiderando o efeito da abundância. Quando encontramos diferenças significativas apenas para a riqueza absoluta de espécies e não para a rarefeita, isso significa que o efeito do pastejo é sobre a abundância de formigas. De qualquer forma, podemos afirmar que a riqueza de espécies de formigas diminuiu nas parcelas de exclusão do pastejo, porém, esse efeito é modelado pela diminuição da abundância.

A maioria dos estudos que avaliaram o efeito do pastejo sobre as assembleias de formigas não encontrou diferenças na riqueza e diversidade de espécies (Kerley e Whitford 2000; Read e Andersen 2000; Calcaterra et al. 2010; Pihlgren et al. 2010; Debinski et al. 2011; Schmidt et al. 2012). Alguns autores relatam apenas a diminuição da abundância de algumas espécies ou grupos funcionais de formigas (Bestelmeyer e Wins 2001; Nash et al. 2004; Hoffmann e James 2011). No entanto, muitos destes trabalhos avaliaram o efeito do pastejo em apenas uma amostragem, comparando ambientes pastejados e não pastejados, ou locais abandonados com histórico de pastejo. Underwood e Christian (2009) analisaram os efeitos do fogo e do pastejo em áreas campestres no norte da Califórnia através de quatro tratamentos: apenas queimados; apenas pastejados; queimados e pastejados; e ausência de fogo e pastejo. Foram encontradas diferenças significativas na abundância de formigas apenas em relação ao fogo. Os autores relatam que apenas um ano de monitoramento não é suficiente para avaliar os efeitos do pastejo sobre as formigas, e destacam a importância de amostragens contínuas para monitorar este distúrbio. Por ser considerado uma atividade complexa que envolve relações entre herbívoros pastadores, vegetação e invertebrados, além do monitoramento a longo prazo, é necessário realizar pesquisas experimentais para poder compreender estas relações (van Klink et al 2014).

No entanto, outro fator que pode ter influenciado nos resultados encontrados com a menor abundância, riqueza e diversidade de formigas nas parcelas de exclusão de pastejo seja a utilização de armadilhas de queda. Apesar de ser utilizado em diversos trabalhos, com diferentes grupos taxonômicos,

este método pode conter algumas limitações. Habitats com estrutura mais complexa (vegetação mais densa), possuem maior área de superfície disponível para as formigas deslocarem-se, reduzindo a possibilidade de serem coletadas em armadilhas de solo. Em uma pesquisa experimental realizada em ambientes campestres na Austrália, foram avaliados três níveis de estrutura de habitat com armadilhas de solo: armadilhas com a vegetação original ao redor; armadilhas que foram removidas apenas folhas senescentes e *litter*; e armadilhas com remoção total da cobertura vegetal. Foram encontradas maior abundância e riqueza de espécies de formigas nas armadilhas com remoção total de cobertura da vegetação (Melbourne 1999). Este fator também é atribuído a associação negativa entre a riqueza de formigas e a biomassa vegetal em campos na Califórnia (Boulton et al. 2005).

Ao longo do tempo o estabelecimento de plantas classificadas como touceiras e, conseqüentemente, o acúmulo de biomassa total e morta, refletiram negativamente nas assembleias de formigas. O aumento dessas características foi encontrado principalmente nas parcelas de exclusão do pastejo, pois a ausência de distúrbios favorece o desenvolvimento destas gramíneas (Quadros e Pillar 2001; Eby 2014). Por serem melhores competidoras por luz, uma alta dominância destas espécies impede o desenvolvimento de outros estratos, diminuindo a diversidade de espécies prostradas (Grime 1973; Overbeck et al. 2007). Em uma pesquisa realizada na Austrália, parcelas excluídas de pastejo apresentavam mais de 90% de gramíneas cespitosas (touceiras) após dois anos de exclusão, influenciando negativamente as comunidades de formigas (Williams et al. 2012).

Um dos principais fatores que pode estar influenciando negativamente as assembleias de formigas devido ao acúmulo de biomassa e gramíneas touceiras, além da questão das armadilhas, é a temperatura. A maioria das espécies de formigas são termofílicas, e diferenças na temperatura do ambiente podem influenciar suas assembleias (Andersen 1997; Kaspari et al. 2000). O acúmulo de biomassa total na exclusão aumenta o sombreamento, enquanto a biomassa morta afeta o microclima do solo. Estes fatores podem diminuir a atividade de forrageamento de formigas e impedir o desenvolvimento das colônias (Bernadou et al. 2013).

Ambientes pastejados geralmente possuem uma maior proporção de solo exposto, aumentando a incidência de energia solar na superfície do solo (Risch et al. 2007). Em áreas com pastejo a temperatura do solo pode chegar até 5° C mais alta do que áreas não pastejadas (Clapperton et al. 2002). Ferreira (2014) encontrou fortes correlações entre cobertura de solo exposto com riqueza e diversidade de espécies vegetais nas mesmas áreas deste estudo, onde encontramos correlações positivas entre a cobertura de solo exposto

com abundância, riqueza e diversidade de formigas. Estas relações demonstram que a atividade pastoril e seus efeitos (neste caso o solo exposto) estão resultando em uma maior diversidade de plantas e de formigas.

As espécies vegetais classificadas como *forbs* apresentaram correlações positivas com abundância, riqueza e diversidade de formigas, reforçando esta questão. Este grupo representa um complexo de estruturas e recursos para nidificação e forrageamento de formigas em áreas de campo. De acordo com a hipótese de heterogeneidade de habitats, ambientes estruturalmente complexos fornecem maior disponibilidade de nichos e diversas formas de explorar os recursos, aumentando a diversidade de espécies (McArthur e Wilson 1967). A maior proporção de *forbs* foi encontrada nos tratamentos convencional e sustentável, assim como a maior riqueza e diversidade de plantas. Além disso, foi encontrada correlação da variância da altura da vegetação com a riqueza de espécies de formigas no terceiro ano de experimento. Esta variável também está associada a heterogeneidade de habitat, e apresenta fortes correlações com as medidas de diversidade de plantas (Ferreira 2014). Toda esta complexidade de estruturas de habitats e diversidade vegetal possivelmente aumentam a disponibilidade de recursos para nidificação e forrageamento de formigas, talvez diminuindo a competição entre espécies.

Também foram encontradas correlações positivas entre o grupo de espécies lenhosas com as medidas de diversidade de formigas. Em ambientes campestres naturais estas espécies se estabelecem com maior facilidade na ausência de distúrbios, o que foi corroborado neste estudo com a maior proporção deste grupo nas parcelas de exclusão (Fig. 5c). No entanto, estas espécies podem proporcionar uma maior complexidade da estrutura e arquitetura da vegetação, com mais microhabitats e diferentes microclimas para as formigas, o que pode explicar as associações positivas encontradas entre estes organismos, mesmo em ambientes excluídos de pastejo.

Quanto a riqueza, diversidade e DF de plantas, foram encontrados padrões semelhantes, havendo uma diminuição destas três medidas nos tratamentos de exclusão no terceiro ano de manejo. Estes resultados corroboram diversos estudos que indicam redução na riqueza e/ou diversidade de plantas na ausência de distúrbios (Rook et al. 2004; Overbeck et al. 2005; Dzwonko e Loster 2007; Kerley 2010; Pihlgren et al 2010). Além disso, autores também relatam um aumento na riqueza de espécies de plantas em áreas sob regime de pastejo moderado, como encontrado nas parcelas convencional e sustentável (Olf e Ritchie 1998; Wilson et al. 2012). A diminuição da DF na exclusão reflete na perda de funções da vegetação nestas parcelas.

Nossos resultados demonstram que a ausência de manejo pastoril em campos nativos do RS afeta negativamente a abundância, riqueza e diversidade de espécies de formigas. Não foram encontradas diferenças nos efeitos sobre as formigas entre os manejos convencional e sustentável. No entanto, é necessário haver um balanço entre a ausência e o excesso de distúrbio. Assim como a exclusão de pastejo é prejudicial para a manutenção das características ecológicas dos campos, o sobrepastejo também pode trazer consequências negativas. No entanto, uma vez que o pastejo afeta direta e indiretamente diferentes níveis tróficos, respostas da fauna e da flora podem não apresentar padrões dependendo da intensidade ou escala destes efeitos. Encontrar um equilíbrio entre produção forrageira e biodiversidade é o grande desafio para o desenvolvimento de sistemas de pastejo sustentáveis (Wallis De Vries et al. 2007). O monitoramento deste experimento a longo prazo pode fornecer informações mais precisas sobre o pastejo sustentável e contribuir para elaboração de planos de manejo dos campos nativos do RS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Rodrigo Machado Feitosa pela confirmação das identificações das espécies. Ao bolsista de iniciação científica Murilo Zanini David pelo auxílio com as amostras do primeiro ano de coleta. Agradecem também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen AN (1991) Responses of ground foraging ant communities to three experimental fire regimes in a savanna forest of tropical Australia. *Biotropica* 23:575-585.
- Andersen AN (1997) Using Ants as bioindicators: Multiscale Issues in Ant Community Ecology. *Conservation Ecology* 1:8.
- Andrade BO (2014) Interação solo-vegetação campestre: estudos de caso em diferentes escalas ecológicas. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Asner GP, Elmore AJ, Olander LP, Martin RE, Harris AT (2004) Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annual Review of Environment and Resources* 29:261-299.
- Baldissera R, Fritz L, Rauber R, Müller SC (2010) Comparison between grassland communities with and without disturbances. *Neotropical Biology and Conservation* 5:3-9.

- Behling H, Jeske-Pieruschka V, Schüler L, Pillar VP (2009) Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: Pillar VP, Müller SC, Castilhos ZMS, Jacques AVA (ed) Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade. MMA, Brasília, pp 13-25
- Bernadou A, Céréghino R, Barcet H, Combe M, Espadaler X, Fourcassié V (2013) Physical and land-cover variables influence ant functional groups and species diversity along elevational gradients. *Landscape Ecology* (2013) 28:1387–1400.
- Bestelmeyer BT, Wins JA (1996) The Effects of Land Use on the Structure of Ground-Foraging Ant Communities in the Argentine Chaco. *Ecological Applications* 6:1225-1240.
- Bestelmeyer BT, Wins JA (2001) Ant biodiversity in semiarid landscape mosaics: the consequences of grazing vs. natural heterogeneity. *Ecological Applications* 11:1123-1140.
- Boulton AM, Davies KF, Ward PS (2005) Species Richness, Abundance, and Composition of Ground-Dwelling Ants in Northern California Grasslands: Role of Plants, Soil, and Grazing. *Environmental Entomology* 34:96-104.
- Calcaterra LA, Cabrera SM, Cuezco F, Pérez IJ, Briano JA (2010) Habitat and Grazing Influence on Terrestrial Ants in Subtropical Grasslands and Savannas of Argentina. *Conservation Biology and Diversity* 103:635-646.
- Clapperton MJ, Kanashiro DA, Behan-Pelletier VM (2002) Changes in abundance and diversity of microarthropods associated with Fescue Prairie grazing regimes. *Pedobiologia* 46:496-511.
- Coppedge BR, Fuhlendorf SD, Harrell WC, Engle DM (2008) Avian community response to vegetation and structural features in grasslands managed with fire and grazing. *Biological Conservation* 141:1196-1203.
- Coughenour MB (1991) Spatial components of plant-herbivore interactions in pastoral, rangeland and native ungulate ecosystems. *Journal Range Management* 44:530-541.
- Debinski DM, Moran RA, Delaney JT, Miller JR, Engle DM, Winkler LB, McGranahan DA, Barney RJ, Trager JC, Stephenson AL, Gillespie MK (2011) A cross-taxonomic comparison of insect responses to grassland management and land-use legacies. *Ecosphere* 2:131.
- Dzwonko Z, Loster S (2007) A functional analysis of vegetation dynamics in abandoned and restored limestone grasslands. *Journal of Vegetation Science* 18:203-212.
- Eby S et al (2014) Loss of a large grazer impacts savanna grassland plant communities similarly in North America and South Africa. *Oecologia* 175: 293-303.

- Ferreira PMA (2014) Abordagem quali-quantitativa e funcional de vegetação campestre nos biomas Pampa e Mata Atlântica. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Fidelis A, Müller SC, Pillar VP, Pfadenhauer J (2007) Efeito do fogo na ecologia de populações de herbáceas e arbustos dos Campos Sulinos. *Revista Brasileira de Biociências* 5:303-305.
- Folgarait PJ (1998) Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. *Biodiversity and Conservation* 7:1221-1244.
- Gonçalves CR (1961) O gênero *Acromyrmex* no Brasil. *Studia Entomologica* 4:113-180.
- Gotelli NJ, Ellison AM, Dunn RR, Sanders NJ (2011) Counting ants (Hymenoptera: Formicidae): biodiversity sampling and statistical analysis for myrmecologists. *Myrmecological News* 15:13-19.
- Grime JP (1973) Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature* 242:344-347.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm Acessado 30 jan 2015
- Hobbs RJ, Huenneke LF (1992) Disturbance, diversity, and invasion: implications for conservation. *Conservation Biology* 6:324-337.
- Hoffmann BD (2010) Using ants for rangeland monitoring: Global patterns in the responses of ant communities to grazing. *Ecological Indicators* 10:105-111.
- Hoffmann BD, James CD (2011) Using ants to manage sustainable grazing: Dynamics of ant faunas along sheep grazing gradients conform to four global patterns. *Austral Ecology* 36:698-708.
- Kaspari M, Alonso L, O'donell (2000) Three energy variables predict ant abundance at a geographical scale. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 267:485-489.
- Kempf WW (1965) A revision of the neotropical fungus-growing ants of the Genus *Cyphomyrmex* Mayr. Part II: group of *rimosus* (Spinola) (Hymenoptera, Formicidae). *Studia Entomologica* 8:163-200.
- Kerley GIH, Whitford WG (2000) Impact of Grazing and Desertification in the Chihuahuan Desert: Plant Communities, Granivores and Granivory. *American Midland Naturalist* 144:78-91.
- Kruess A, Tschamtker T (2002) Contrasting responses of plant and insect diversity to variation in grazing intensity. *Biological Conservation* 106: 293-302.
- Longino JT, Fernández F (2007) Taxonomic review of the genus *Wasmannia*. In: Snelling RR, Fisher BL, Ward PS (ed) *Advances In Ant Systematics (Hymenoptera: Formicidae): Homage To E. O. Wilson – 50 Years Of Contributions*. *Memoirs of the American Entomological Institute*, pp 271-289

- MacArthur RH, Wilson EO (1967) The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton
- Melbourne BA (1999) Bias in the effect of habitat structure on pitfall traps: An experimental evaluation. *Australian Journal of Ecology* 24:228-239.
- Milchunas D, Sala O, Lauenroth WK (1988) A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. *American Naturalist* 132:87-106.
- Nabinger C, Moraes A, Maraschin GE (2000) Campos in Southern Brazil. In: Lemaire G, Hodgson JG, Moraes A, Maraschin GE (ed) *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI Publishing Wallingford, pp 355-376
- Nash MS, Bradford DF, Franson SE, Neale AC, Whitford WG, Heggem DT (2004) Livestock grazing effects on ant communities in the eastern Mojave Desert, USA. *Ecological Indicators* 4:199-213.
- Oertli S, Muller A, Steiner D, Breitenstein A, Dorn S (2005) Cross-taxon congruence of species diversity and community similarity among three insect taxa in a mosaic landscape. *Biological Conservation* 126:195-205.
- Olf H, Ritchie ME (1998) Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends in Ecology & Evolution* 13:261-265.
- Overbeck GE, Müller SC, Pillar VP, Pfadenhauer J (2005) Fine-scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grasslands. *Journal of Vegetation Science* 16:655-664.
- Overbeck GE, Müller SC, Fidelis A, Pfadenhauer J, Pillar VP, Blanco CC, Boldrini II, Both R, Forneck ED (2007) Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9:101-116.
- Palácio EE, Fernández F (2003) Clave para las subfamilias y gêneros. In: Fernández F (ed) *Introducción a las hormigas de la region neotropical*. Instituto Investigativo de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Bogotá, pp 233-260
- Pihlgren A, Lenoir L, Dahms H (2010) Ant and plant species richness in relation to grazing, fertilisation and topography. *Journal for Nature Conservation* 18:118-125.
- Pillar VP, Quadros FLF (1997) Grassland-forest boundaries in Southern Brazil. *Coenoses* 12:119-126.
- Pillar VP (2004) SYNCSA: software integrado para análise multivariada de comunidades baseada em caracteres, dados de ambiente, avaliação e testes de hipóteses-versão 2.2.4. Porto Alegre: Departamento de Ecologia, UFRGS

- Pillar VP (2006) MULTIV: software para análise multivariada, testes de aleatorização e autoreamostragem "bootstrap", v. 2.4.2. Porto Alegre: Departamento de Ecologia, UFRGS
- Quadros FLF, Pillar VP (2001) Dinâmica vegetacional em pastagem natural submetida a tratamentos de queima e pastejo. *Ciência Rural* 31:863-868.
- Quadros FLF, Cruz P, Theau JP, Jouany C, Duru M, Carvalho PCF, Frizo A (2006) Uso de tipos funcionais de gramíneas como alternativas de diagnóstico da dinâmica e do manejo de campos naturais. In: 42 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, João Pessoa
- Read JL, Andersen AN (2000) The value of ants as early warning bioindicators: responses to pulsed cattle grazing at na Australian arid zone locality. *Journal of Arid Environments* 45:231-251.
- Risch AC, Jurgensen MF, Frank DA (2007) Effects of grazing and soil microclimate on decomposition rates in a spatio-temporally heterogeneous grassland. *Plant and Soil* 298:191-201.
- Rook AJ, Dumont B, Isselstein J, Osoro K, Wallis De Vries M F, Parente G, Mills J (2004) Matching type of livestock to desired biodiversity out comes in pastures – A review. *Biological Conservation* 119:137-150.
- Schmidt AC, Fraser LH, Carlyle CN, Bassett ERL (2012) Does Cattle Grazing Affect Ant Abundance and Diversity in Temperate Grasslands? *Rangeland Ecology & Management* 65:292-298.
- Soussana JF (2009) Os desafios da ciência das pastagens européias são relevantes para os Campos Sulinos? In: Pillar VP, Müller SC, Castilhos ZMS, Jacques AVA (ed) *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. MMA, Brasília, pp 331-344
- Underwood EC, Christian CE (2009) Consequences of Prescribed Fire and Grazing on Grassland Ant Communities. *Environmental Entomology* 38:325-332.
- Wallis De Vries MF, Parkinson AE, Dulphy JP, Sayer M, Diana E (2007) Effects of livestock breed and grazing intensity on biodiversity and production in grazing systems. 4. Effects on animal diversity. *Grass and Forage Science* 62:185-197.
- Watkins JF (1976) The identification and distribution of new world army ants (Dorylinae: Formicidae). The Markham Press Fund of Baylor University Press, Baylor University
- Whiles MR, Charlton RE (2006) The ecological significance of Tallgrass Prairie arthropods. *Annual Review of Entomology* 51:387-412.
- Wild AL (2007) Taxonomic revision of the ant genus *Linepithema* (Hymenoptera: Formicidae). *University of California Publications in Entomology* 126:126-162.

Williams ER, Mulligan DR, Erskine PD, Plowman KP (2012) Using insect diversity for determining land restoration development: Examining the influence of grazing history on ant assemblages in rehabilitated pasture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 163:54-60.

Wilson EO (2003) *Pheidole in the new world: a dominant, hyperdiverse ant genus*. Harvard University Press, Cambridge, Harvard University

Wilson JB, Peet RK, Dengler J, Partel M (2012) Plant species richness: the world records. *Journal of Vegetation Science* 23:796-802.

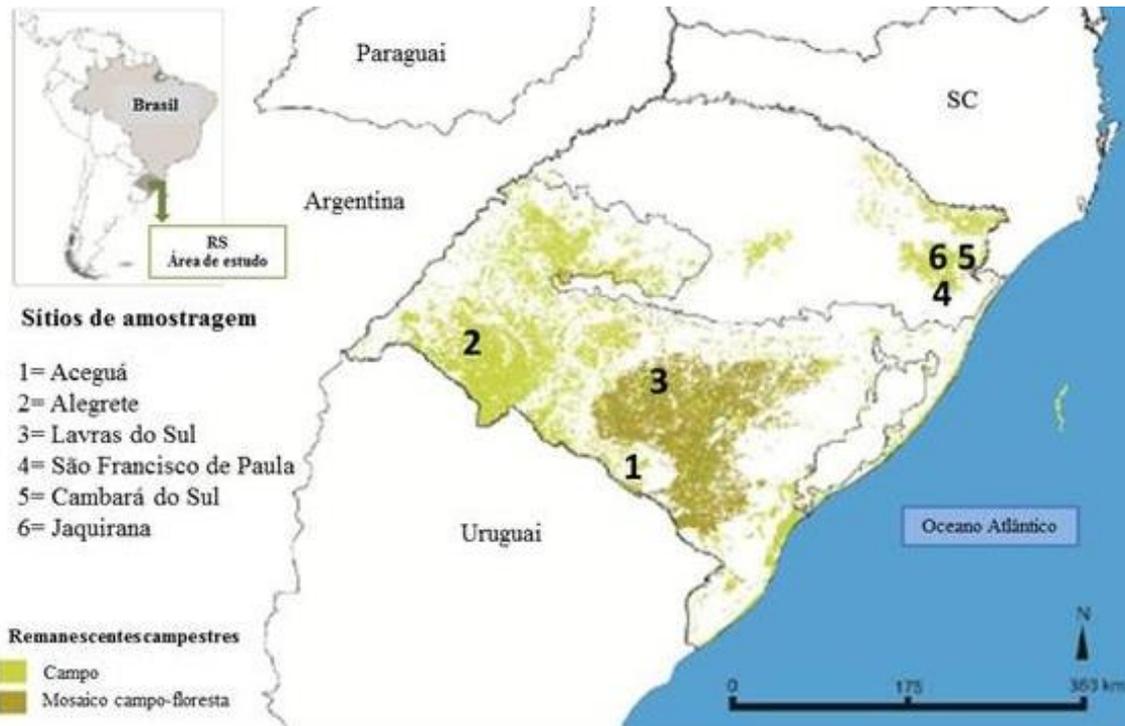


Fig. 1 Mapa do Rio Grande do Sul ilustrando as seis localidades onde foram realizadas as coletas em ambiente campestre. 1 - Aceguá; 2 - Alegrete; 3 - Lavras do Sul; 4 - São Francisco de Paula; 5 - Cambará do Sul; 6 - Jaquirana.

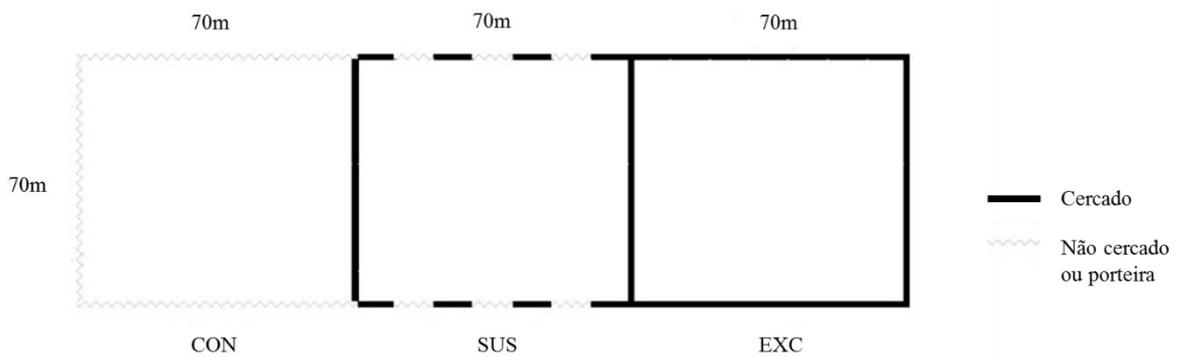


Fig. 2 Esquema do desenho amostral em blocos de cada localidade sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC).

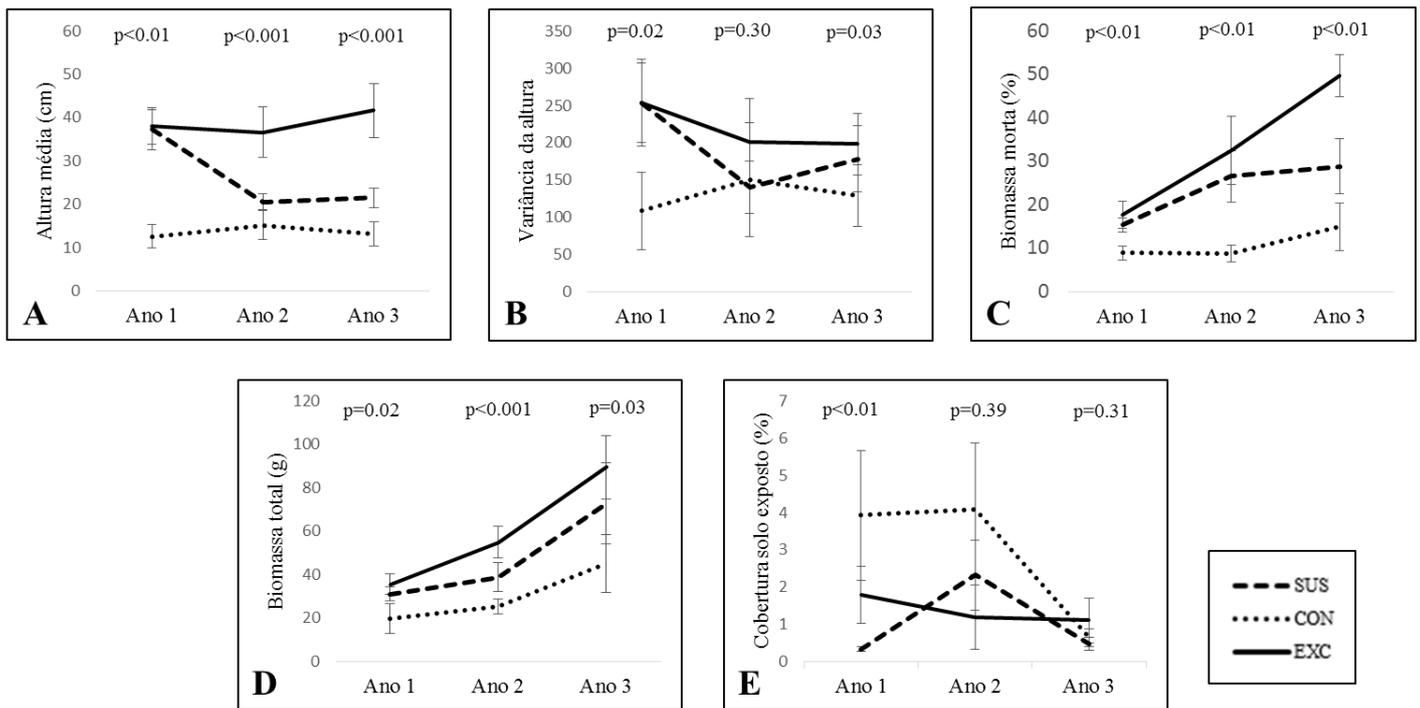


Fig. 3 Altura média da vegetação (a), variância da altura (b), biomassa morta (c), biomassa total (d) e cobertura de solo exposto (e) em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações.

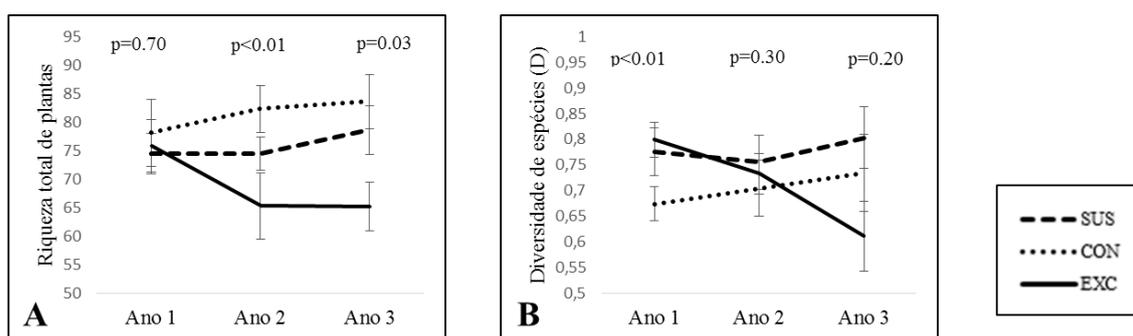


Fig. 4 Riqueza total (a) e diversidade de espécies de plantas (b) em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos, para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações.

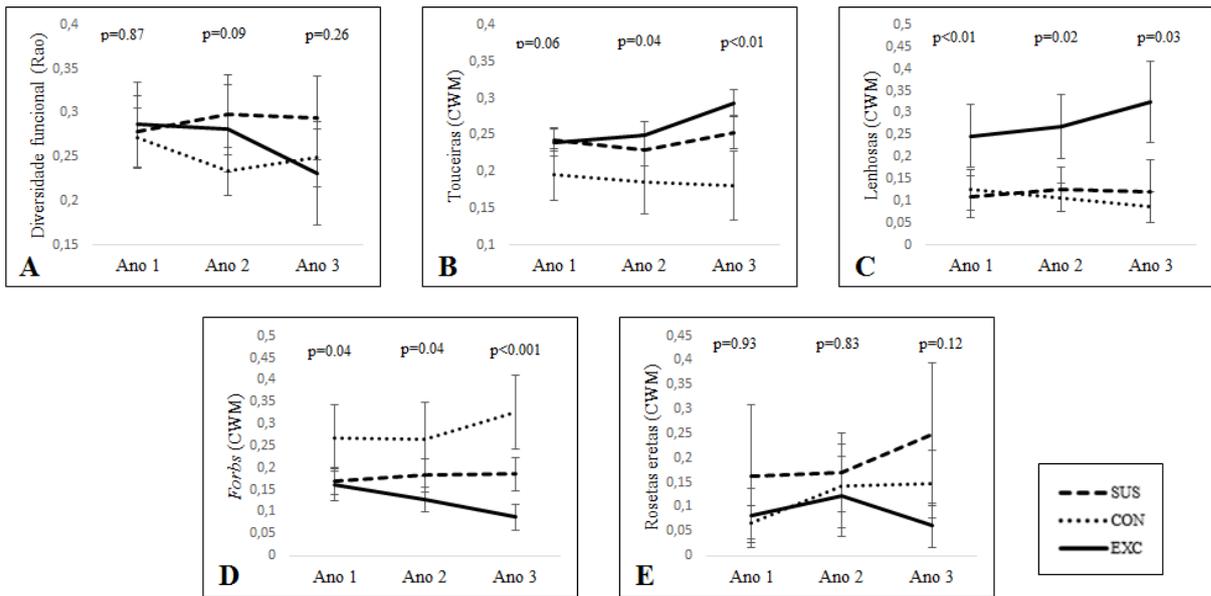


Fig. 5 Diversidade funcional de plantas (a) e valores dos atributos médios (CWM) de touceiras (b), lenhosas (c), *forbs* (d) e rosetas eretas (e) em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos, para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações.

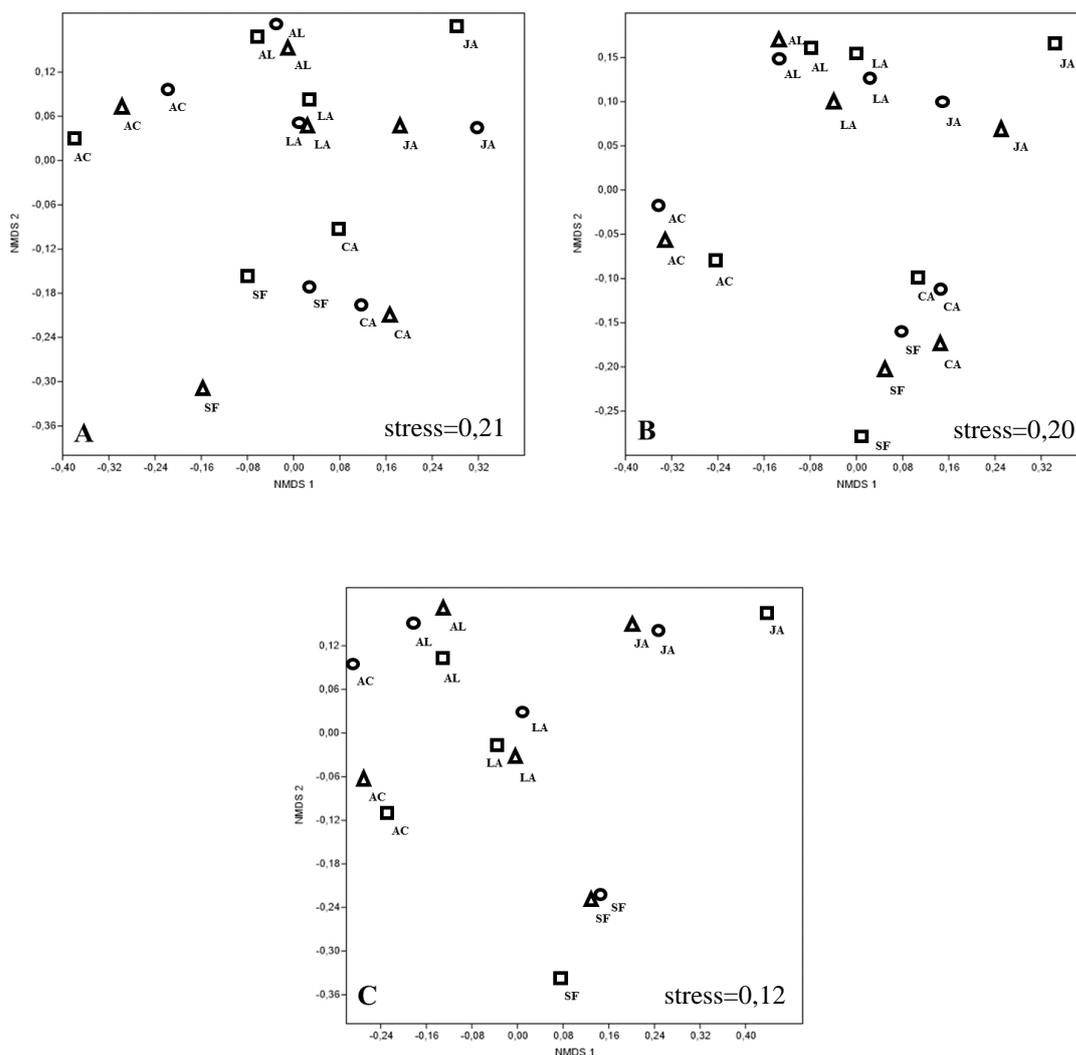


Fig. 6 Diagramas de ordenação de escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) com dados de presença/ausência de formigas nas amostragens após um (a), dois (b) e três (c) anos de experimento em seis localidades do Rio Grande do Sul: AC (Aceguá), AL (Alegrete), CA (Cambará do Sul), JA (Jaquirana), LA (Lavras do Sul) e SF (São Francisco de Paula). Os diferentes manejos estão representados por formas geométricas: sustentável (triângulos), convencional (círculos) e exclusão (quadrados). Foram utilizadas 10.000 permutações para os fatores: localidades e tipo de manejo.

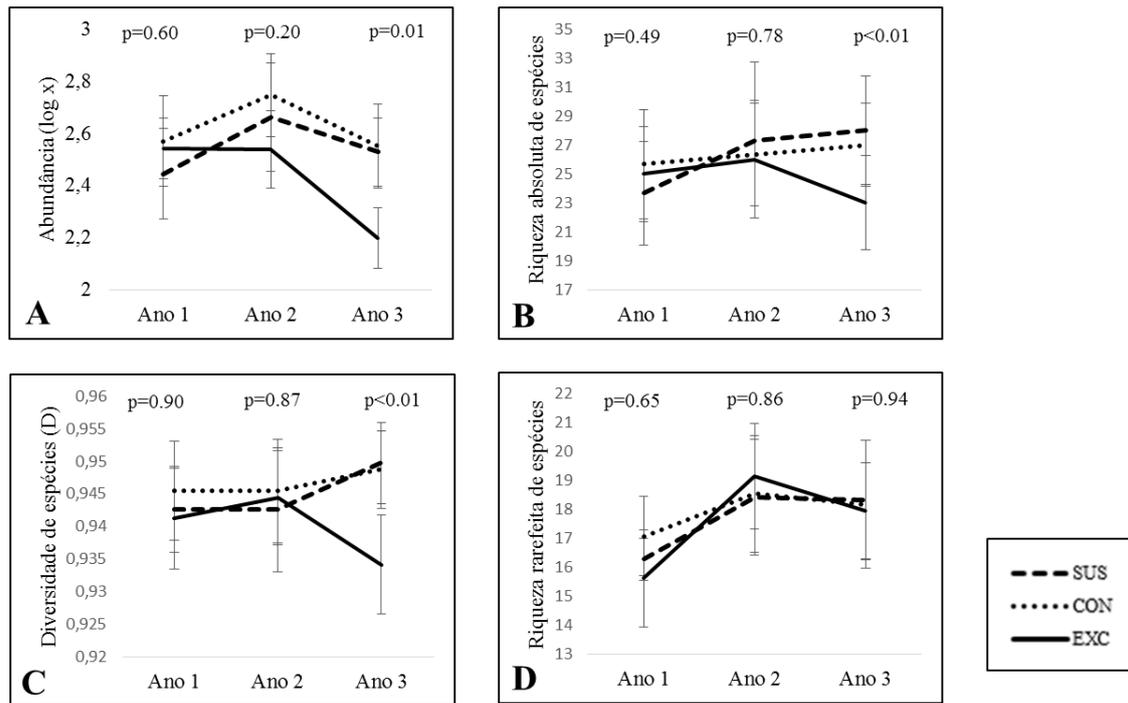


Fig. 7 Abundância (a), riqueza absoluta (b), diversidade (c) e riqueza rarefeita de espécies (d) de formigas em ambiente campestre ao longo de três anos sob diferentes tipos de manejo por pastejo: sustentável (SUS), convencional (CON) e exclusão (EXC). Valores de $p < 0,05$ representam diferença significativa entre tratamentos, para cada ano separadamente, baseado em análise de variância em blocos ($n=6$) com 10.000 permutações.

Tabela 1 Lista de espécies de formigas coletadas durante três anos com armadilhas de queda (*pitfall trap*) e rede de varredura (*sweep net*) em ambientes campestres dos biomas Pampa e Mata Atlântica no Rio Grande do Sul, baseada em presença/ausência. Localidades: Aceguá (AC), Alegrete (AL), Lavras do Sul (LA), Cambará do Sul (CA), Jaquirana (JA) e São Francisco de Paula (SF). Tipos de manejo por pastejo: Sustentável (S), Convencional (C) e Exclusão (E).

ESPÉCIES	BIOMA PAMPA									BIOMA M. ATLÂNTICA									
	AC			AL			LA			CA			JA			SF			
	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	
Dolichoderinae																			
<i>Dorymyrmex pyramicus</i> (Roger, 1863)				X	X	X	X	X	X		X		X		X				
<i>Dorymyrmex</i> sp.2						X		X											
<i>Dorymyrmex</i> sp.5				X		X	X												
<i>Dorymyrmex</i> sp.6					X														
<i>Dorymyrmex</i> sp.7					X														
<i>Gracilidris pombero</i> Wild & Cuezzo, 2006	X	X							X										
<i>Linepithema micans</i> (Forel, 1908)				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Linepithema</i> sp.2					X		X	X	X										
<i>Tapinoma</i> sp.1		X		X	X	X	X											X	
Dorylinae																			
<i>Neivamyrmex</i> sp.1							X						X	X		X	X		
<i>Neivamyrmex</i> sp.2							X												
<i>Neivamyrmex</i> sp.3													X						
Ectatomminae																			
<i>Ectatomma edentatum</i> Roger, 1863	X	X					X	X					X	X					
<i>Gnamptogenys rastrata</i> (Mayr, 1866)				X			X	X					X			X		X	
<i>Gnamptogenys striatula</i> Mayr, 1884		X					X	X	X				X	X	X				
Formicinae																			
<i>Brachymyrmex coactus</i> Mayr, 1887				X	X	X	X	X	X										
<i>Brachymyrmex</i> sp.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
<i>Brachymyrmex</i> sp.2	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
<i>Brachymyrmex</i> sp.3				X	X	X	X	X	X										
<i>Brachymyrmex</i> sp.7				X		X	X												
<i>Brachymyrmex</i> sp.8						X													
<i>Camponotus koseritzi</i> Emery, 1888							X	X	X										
<i>Camponotus punctulatus</i> Mayr, 1868	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	
<i>Camponotus</i> sp.2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	
<i>Camponotus</i> sp.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X				
<i>Camponotus</i> sp.7								X											
<i>Camponotus</i> sp.8																		X	
<i>Camponotus</i> sp.9				X					X				X	X					
<i>Myrmelachista gallicola</i> Mayr, 1887						X	X	X	X				X						
<i>Nylanderia fulva</i> (Mayr, 1862)	X	X	X				X	X					X	X					
Heteroponerinae																			

Tabela 1 Continuação

ESPÉCIES	BIOMA PAMPA						BIOMA M. ATLÂNTICA											
	AC			AL			LA			CA			JA			SF		
	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E
<i>Acanthoponera</i> sp. nova															X			
Myrmicinae																		
<i>Acromyrmex ambiguus</i> (Emery, 1888)	X	X	X				X	X	X									
<i>Acromyrmex coronatus</i> (Fabricius, 1804)			X										X			X	X	X
<i>Acromyrmex heyeri</i> (Forel, 1899)	X	X	X	X				X		X								X
<i>Acromyrmex landolti balzani</i> Emery, 1890													X					
<i>Acromyrmex lobicornis</i> (Emery, 1888)	X	X	X	X	X													
<i>Cephalotes pallens</i> (Klug, 1824)							X											
<i>Crematogaster quadriformis</i> Roger, 1863	X	X	X	X	X	X	X	X										
<i>Crematogaster</i> sp.2				X			X	X	X									
<i>Crematogaster</i> sp.3						X												
<i>Crematogaster</i> sp.4				X														
<i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Cyphomyrmex transversus</i> Emery, 1894				X	X	X												
<i>Megalomyrmex</i> (gr. silvestri) sp.1						X												
<i>Megalomyrmex</i> sp.2		X																
<i>Pheidole</i> (gr. fallax) sp.1	X	X		X	X													
<i>Pheidole</i> (gr. tristis) sp.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
<i>Pheidole</i> (gr. tristis) sp.2				X	X													
<i>Pheidole aberrans</i> Mayr, 1868	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X					
<i>Pheidole breviseta</i> Santschi, 1919	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		
<i>Pheidole cavifrons</i> Emery, 1906				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pheidole nubila</i> Emery, 1906	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
<i>Pheidole obtusopilosa</i> Mayr, 1887	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pheidole pampana</i> Santschi, 1929	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
<i>Pheidole</i> pr. jelskii				X			X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pheidole radoszkowskii</i> Mayr, 1884	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Pheidole spininods</i> Mayr, 1887		X		X	X	X	X	X	X									
<i>Pheidole</i> sp.2				X	X								X	X	X			
<i>Pheidole</i> sp.5		X					X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
<i>Pheidole</i> sp.8							X	X	X	X	X		X	X		X	X	X
<i>Pheidole</i> sp.10							X	X										
<i>Pogonomyrmex naegelii</i> Emery, 1878													X	X		X		
<i>Solenopsis invicta</i> Buren, 1972	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp.2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp.3										X			X	X		X		X
<i>Solenopsis</i> sp.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X				
<i>Solenopsis</i> sp.5	X	X	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp.6													X					
<i>Solenopsis</i> sp.7	X	X	X	X														
<i>Solenopsis</i> sp.8				X	X	X												
<i>Solenopsis</i> sp.9				X			X	X		X	X		X					

Tabela 1 Continuação

ESPÉCIES	BIOMA PAMPA						BIOMA M. ATLÂNTICA					
	AC		AL		LA		CA		JA		SF	
	S	C	E	S	C	E	S	C	E	S	C	E
<i>Solenopsis</i> sp.10	X	X	X	X	X	X						
<i>Solenopsis</i> sp.11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Solenopsis</i> sp.12					X	X			X	X		
<i>Solenopsis</i> sp.14				X								
<i>Strumigenys louisianae</i> Roger, 1863						X	X	X	X	X	X	X
<i>Trachymyrmex</i> (gr. <i>uriqui</i>) sp.1	X			X	X	X	X	X				X
<i>Trachymyrmex holmgreni</i> Wheeler, 1925									X			
<i>Trachymyrmex kempf</i> Fowler, 1982	X			X	X	X	X	X				
<i>Trachymyrmex pruinosus</i> (Emery, 1906)							X	X	X			
<i>Wasmannia auropunctata</i> (Roger, 1863)		X	X			X	X	X	X	X	X	X
<i>Wasmannia</i> pr. <i>sulcaticeps</i>						X	X	X	X	X		
<i>Wasmannia sulcaticeps</i> Emery, 1894	X	X	X	X	X	X	X	X				X
<i>Wasmannia williamsoni</i> Kusnezov, 1952	X	X	X	X		X	X	X				
Ponerinae												
<i>Anochetus neglectus</i> Emery, 1894	X	X	X	X		X	X					
<i>Hypoponera</i> sp.1						X		X				
<i>Hypoponera</i> sp.2				X	X	X				X		X
<i>Hypoponera</i> sp.3				X								
<i>Hypoponera</i> sp.4				X	X							
<i>Hypoponera</i> sp.5	X											
<i>Hypoponera</i> sp.6	X				X							
<i>Hypoponera</i> sp.7							X					X
<i>Hypoponera</i> sp.8					X							
<i>Neoponera bucki</i> (Borgmeier, 1927)							X					
<i>Pachycondyla striata</i> Smith, 1858												X
Pseudomyrmecinae												
<i>Pseudomyrmex simplex</i> (Smith, 1877)				X	X	X	X	X	X	X	X	

Tabela 2 Correlações simples entre variáveis respostas (formigas) e explicativas (vegetação) encontradas em ambientes campestres no primeiro ano de manejo (2011). Apenas correlações com $p < 0,05$ são apresentadas. Legenda: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

	Solo exposto	Biomassa total	Lenhosas	Herbáceas	Touceiras
Abundância (log)	-	$r = -0,46^*$	$r = 0,60^{**}$	$r = 0,62^{**}$	$r = -0,70^{**}$
Riqueza	$r = 0,52^*$	-	$r = 0,78^{***}$	$r = 0,64^{**}$	$r = -0,76^{***}$
Riqueza rarefeita	$r = 0,61^{**}$	$r = -0,47^*$	$r = 0,63^{**}$	$r = 0,60^{**}$	$r = -0,67^{**}$
Diversidade (D)	$r = 0,50^*$	$r = -0,47^*$	$r = 0,70^{**}$	$r = 0,62^{**}$	$r = -0,71^{***}$

Tabela 3 Correlações simples entre variáveis respostas (formigas) e explicativas (vegetação) encontradas em ambientes campestres no segundo ano de manejo (2012). Apenas correlações com $p < 0,05$ são apresentadas. Legenda: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

	Biomassa total	Variância da altura	Herbáceas	Touceiras
Abundância (log)	$r = -0,67^{**}$	-	$r = 0,73^{***}$	$r = -0,77^{***}$
Riqueza	$r = -0,49^*$	$r = 0,50^*$	$r = 0,58^*$	$r = -0,62^{**}$
Riqueza rarefeita	-	$r = 0,50^*$	-	-
Diversidade (D)	$r = -0,55^*$	-	$r = 0,62^{**}$	$r = -0,66^{**}$

Tabela 4 Correlações simples entre variáveis respostas (formigas) e explicativas (vegetação) encontradas em ambientes campestres no terceiro ano de manejo (2013). Apenas correlações com $p < 0,05$ são apresentadas. Legenda: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

	Biomassa morta	Biomassa total	Variância da altura	Lenhosas	Herbáceas	Touceiras
Abundância (log)	$r = -0,69^{**}$	-	-	-	$r = 0,54^*$	$r = -0,58^*$
Riqueza	-	-	$r = 0,50^*$	$r = 0,51^*$	$r = 0,56^*$	$r = -0,64^{**}$
Riqueza rarefeita	-	-	$r = 0,56^*$	-	-	-
Diversidade (D)	$r = -0,53^*$	$r = -0,51^*$	-	$r = 0,51^*$	$r = 0,60^*$	$r = -0,67^{**}$

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo pastoril é uma atividade capaz de desempenhar um papel econômico e ecológico em um mesmo contexto. Talvez este seja um dos motivos que fazem deste processo o foco de diversos grupos de pesquisa no mundo. Apesar de um amplo conhecimento sobre esta atividade já estar consolidado, muitas respostas ainda são necessárias, principalmente em relação ao uso sustentável desta prática e a manutenção de ecossistemas campestres naturais. Diversos autores destacam que a melhor maneira de avançar nesta questão é através da realização de estudos experimentais a longo prazo. Os resultados desta dissertação demonstram que a exclusão de manejo em áreas de campos naturais no Rio Grande do Sul e as consequentes mudanças na estrutura do habitat e da vegetação afetam negativamente as assembleias de formigas, através da diminuição da abundância, riqueza e diversidade destes organismos. Não foram encontradas diferenças significativas nos efeitos ocasionados pelos manejos convencional e sustentável. No entanto, o fato do pastejo desencadear respostas diretas e indiretas ao habitat, afetando diferentes níveis tróficos, destaca-se a importância de compreender as relações de causa e efeito desta atividade com o ambiente. A análise de caminhos (*path analysis*) pode ser a ferramenta ideal para revelar a complexidade destas interações. O monitoramento a longo prazo desta pesquisa deve continuar para que os efeitos do pastejo possam ser acompanhados, auxiliando em estratégias de conservação para maximizar a diversidade e heterogeneidade dos campos nativos com pastagens do RS.

Anexo I. Biodiversity and Conservation.

Editor-in-Chief: David Hawksworth

ISSN: 0960-3115 (print version)

ISSN: 1572-9710 (electronic version)

Instructions for Authors:

Aims and scope

Biodiversity and Conservation is an international journal devoted to the publication of articles on all aspects of biological diversity - its description, analysis and conservation, and its controlled rational use by humankind. The scope of *Biodiversity and Conservation* is wide and multidisciplinary, and embraces all life-forms. Original research and review papers, as well as Editorials, Comments and Letters to the Editor, on biodiversity and conservation, and contributions which deal with the practicalities of conservation management, economic, social and political issues and with case studies are welcome. The journal provides a forum for examining the conflict between sustainable development and human dependence on biodiversity, in such fields as agriculture, environmental management and biotechnology. The Editors encourage contributors from developing countries in order to realize proper global perspectives on matters of biodiversity and conservation. However, this is not a taxonomic journal and does not publish new scientific names of species or other ranks except in exceptional circumstances.

General

Language

The journal's language is English. British English or American English spelling and terminology may be used, but either one should be followed consistently throughout the article. Authors are responsible for ensuring the language quality prior to submission.

Spacing

Please double-space all material, including notes and references.

Nomenclature

This is not a taxonomic journal and does not publish new scientific names of species or other ranks except in exceptional circumstances. The correct names of organisms conforming with the international rules of nomenclature must be used, but author citations of names are to be omitted except in exceptional cases where full bibliographic references to the original publication are justified.

Manuscript Submission

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online Submission

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. Please follow the hyperlink "Submit online" on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

Article Types

Original Research (9,000):

Manuscripts which are based on newly generated data which has not previously been published or new analyses of existing data sets. Topics which are likely to be of interest to a wide range of biodiversity scientists and conservationists are given priority, although local studies or ones restricted to one or a few species may be considered if they serve as case studies or include some novel approach. Articles dealing with several groups of organisms and wide geographical areas are generally welcome. Ecological or genetic papers will be considered only where they contribute to the core themes of the journal. Also, this is not a taxonomic journal, and papers which describe new species or propose new systematic arrangements will not normally be considered. In addition, author citations of scientific names are not to be included. The title page should be organized as in the section "Title page". This should be followed by an Abstract (150-250 words) and Key words (ones not in the title). The Introduction should place the work in a broader context and make the objectives clear. Methods and Results sections normally follow, and articles close with a Discussion of the results. Subheadings and alternative headings may be used where appropriate. References must follow the style given in "References", and be followed by Figure captions, Figures, and Tables (in that order).

Review Article (12,000):

Unsolicited reviews are encouraged, generally should have a global or regional perspective, and may concern particular groups of organisms or methodologies. They are generally prepared by experienced researchers with special in-depth knowledge of the topic. Extensive lists of references are expected. The general guidance given for Original Research submissions should be followed, but the system of headings and subheadings generally varies depending on the topic. Reviews generally include indications of outstanding issues to be addressed, and directions future work could take to elucidate those issues. If in doubt whether a review topic might be suitable, please contact the Editor-in-Chief prior to preparation and submission.

Invited Reviews (12,000):

Invited Reviews are ones which the Review Editor has invited, and are generally on subjects of wide or topical interest, or which may be controversial. The Reviews Editor makes invitations on the basis of her own experience with inputs from the journal's Associate Editors. Otherwise, the guidance given under "Review Article" above applies.

Book Review (12,000):

The journal no longer publishes individual book reviews as separate items, but combines book reviews and notices into batches which are issued one or two times each year. Authors wishing to submit reviews of books they have received should first check with the Editor-in-Chief whether the titles are already being covered. Publishers wishing to have titles considered for inclusion should send them to the Editor-in-Chief.

Commentary (2,000):

Remarks on particular topical issues or criticisms of published work in this or other journals, often controversial and bringing attention to matters of concern. They should follow the general guidance under "Original Articles", and require an Abstract, but the internal structure will depend on the topic. Commentaries do not generally include original previously unpublished data.

Letter to the Editor (1,000):

Opinions or criticisms drawing attention to issues of concern, or pointing out errors or inadequacies in Original Research articles published either in this journal or in other journals, are now welcome. They can be controversial, but need to cite supporting evidence for views expressed. No Abstract is required, no headings or subheadings are generally necessary, and References should normally not exceed 10-15.

The word count should include title, abstract, keywords, body of the text, figures, and tables but excluding authors affiliations, references and on-line supplementary material.

Title page

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

Text

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data).

Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

References

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list. Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted: Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325–329

Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med*. doi:10.1007/s001090000086

Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern genomics*, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

Dissertation

Trent JW (1975) *Experimental acute renal failure*. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal’s name according to the ISSN List of Title Word Abbreviations, see

ISSN.org LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

EndNote style (zip, 2 kB)

Tables

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table. Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

Artwork and Illustrations Guidelines

Electronic Figure Submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format.

Msoffice files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Definition: Black and white graphic with no shading.

Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.

Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions.

Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure Lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures,

"A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure Captions

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file.

Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure Placement and Size

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.

For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that

All figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (colorblind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

Does Springer provide English language support?

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in all areas Springer publishes in:

Edanz English editing for scientists

Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication. Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.

Edanz English editing for scientists

For Authors from China

文章在投稿前进行专业的语言润色将对作者的投稿进程有所帮助。作者可自愿选择使用Springer推荐的编辑服务，使用与否并不作为判断文章是否被录用的依据。提高文章的语言质量将有助于审稿人理解文章的内容，通过对学术内容的判断来决定文章的取舍，而不会因为语言问题导致直接退稿。作者需自行联系Springer推荐的编辑服务公司，协商编辑事宜。

理文编辑

For Authors from Japan

ジャーナルに論文を投稿する前に、ネイティブ・スピーカーによる英文校閲を希望されている方には、Edanz社をご紹介します。サービス内容、料金および申込方法など、日本語による詳しい説明はエダングループジャパン株式会社の下記サイトをご覧ください。

エダングループジャパン

For Authors from Korea

영어 논문 투고에 앞서 원어민에게 영문 교정을 받고자 하시는 분들께 Edanz 회사를 소개해 드립니다. 서비스 내용, 가격 및

신청 방법 등에 대한 자세한 사항은 저희 Edanz Editing Global 웹사이트를 참조해 주시면 감사하겠습니다.

Electronic Supplementary Material

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, Video, and Animations

Always use MPEG-1 (.mpg) format.

Text and Presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability. A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended. If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized Formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .vrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting Multiple Files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as “Online Resource”, e.g., “... as shown in the animation (Online Resource 3)”, “... additional data are given in Online Resource 4”.

Name the files consecutively, e.g. “ESM_3.mpg”, “ESM_4.pdf”.

Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that

The manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk)

Ethical Responsibilities of Authors

This journal is committed to upholding the integrity of the scientific record. As a member of the Committee on Publication Ethics (COPE) the journal will follow the COPE guidelines on how to deal with potential acts of misconduct.

Authors should refrain from misrepresenting research results which could damage the trust in the journal, the professionalism of scientific authorship, and ultimately the entire scientific endeavour. Maintaining integrity of the research and its presentation can be achieved by following the rules of good scientific practice, which include:

The manuscript has not been submitted to more than one journal for simultaneous consideration.

The manuscript has not been published previously (partly or in full), unless the new work concerns an expansion of previous work (please provide transparency on the re-use of material to avoid the hint of text-recycling (“self-plagiarism”).

A single study is not split up into several parts to increase the quantity of submissions and submitted to various journals or to one journal over time (e.g. “salami-publishing”).

No data have been fabricated or manipulated (including images) to support your conclusions

No data, text, or theories by others are presented as if they were the author’s own

(“plagiarism”). Proper acknowledgements to other works must be given (this includes material that is closely copied (near verbatim), summarized and/or paraphrased), quotation marks are used for verbatim copying of material, and permissions are secured for material that is copyrighted.

Important note: the journal may use software to screen for plagiarism.

Consent to submit has been received explicitly from all co-authors, as well as from the responsible authorities - tacitly or explicitly - at the institute/organization where the work has been carried out, **before** the work is submitted.

Authors whose names appear on the submission have contributed sufficiently to the scientific work and therefore share collective responsibility and accountability for the results.

In addition:

Changes of authorship or in the order of authors are not accepted **after** acceptance of a manuscript.

Requesting to add or delete authors at revision stage, proof stage, or after publication is a serious matter and may be considered when justifiably warranted. Justification for changes in authorship must be compelling and may be considered only after receipt of written approval from all authors and a convincing, detailed explanation about the role/deletion of the new/deleted author. In case of changes at revision stage, a letter must accompany the revised manuscript. In case of changes after acceptance or publication, the request and documentation must be sent via the Publisher to the Editor-in-Chief. In all cases, further documentation may be required to support your request. The decision on accepting the change rests with the Editor-in-Chief of the journal and may be turned down. Therefore authors are strongly advised to ensure the correct author group, corresponding author, and order of authors at submission.

Upon request authors should be prepared to send relevant documentation or data in order to verify the validity of the results. This could be in the form of raw data, samples, records, etc. If there is a suspicion of misconduct, the journal will carry out an investigation following the COPE guidelines. If, after investigation, the allegation seems to raise valid concerns, the accused author will be contacted and given an opportunity to address the issue. If misconduct has been established beyond reasonable doubt, this may result in the Editor-in-Chief's implementation of the following measures, including, but not limited to:

If the article is still under consideration, it may be rejected and returned to the author.

If the article has already been published online, depending on the nature and severity of the infraction, either an erratum will be placed with the article or in severe cases complete retraction of the article will occur. The reason must be given in the published erratum or retraction note. The author's institution may be informed.

Compliance with Ethical Standards

To ensure objectivity and transparency in research and to ensure that accepted principles of ethical and professional conduct have been followed, authors should include information regarding sources of funding, potential conflicts of interest (financial or non-financial), informed consent if the research involved human participants, and a statement on welfare of animals if the research involved animals.

Authors should include the following statements (if applicable) in a separate section entitled "Compliance with Ethical Standards" before the References when submitting a paper:

Disclosure of potential conflicts of interest

Research involving Human Participants and/or Animals

Informed consent

Please note that standards could vary slightly per journal dependent on their peer review policies (i.e. double blind peer review) as well as per journal subject discipline. Before submitting your article check the Instructions for Authors carefully.

The corresponding author should be prepared to collect documentation of compliance with ethical standards and send if requested during peer review or after publication.

The Editors reserve the right to reject manuscripts that do not comply with the above-mentioned guidelines. The author will be held responsible for false statements or failure to fulfill the above-mentioned guidelines.

Disclosure of potential conflicts of interest

Authors must disclose all relationships or interests that could have direct or potential influence or impart bias on the work. Although an author may not feel there is any conflict, disclosure of relationships and interests provides a more complete and transparent process, leading to an accurate and objective assessment of the work. Awareness of a real or perceived conflicts of interest is a perspective to which the readers are entitled. This is not meant to imply that a financial relationship with an organization that sponsored the research or compensation received for consultancy work is inappropriate. Examples of potential conflicts of interests **that are directly or indirectly related to the research** may include but are not limited to the following:

Research grants from funding agencies (please give the research funder and the grant number)

Honoraria for speaking at symposia

Financial support for attending symposia

Financial support for educational programs

Employment or consultation

Support from a project sponsor

Position on advisory board or board of directors or other type of management relationships

Multiple affiliations

Financial relationships, for example equity ownership or investment interest

Intellectual property rights (e.g. patents, copyrights and royalties from such rights)

Holdings of spouse and/or children that may have financial interest in the work

In addition, interests that go beyond financial interests and compensation (non-financial interests) that may be important to readers should be disclosed. These may include but are not limited to personal relationships or competing interests directly or indirectly tied to this research, or professional interests or personal beliefs that may influence your research.

The corresponding author collects the conflict of interest disclosure forms from all authors. In author collaborations where formal agreements for representation allow it, it is sufficient for the corresponding author to sign the disclosure form on behalf of all authors. Examples of forms can be found [here](#):

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list, that reflects what is recorded in the potential conflict of interest disclosure form(s).

See below examples of disclosures:

Funding: This study was funded by X (grant number X).

Conflict of Interest: Author A has received research grants from Company A. Author B has received a speaker honorarium from Company X and owns stock in Company Y. Author C is a member of committee Z.

If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.