



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Biociências
Programa de Pós-Graduação em Ecologia



Dissertação de Mestrado

**Distúrbio por fogo nos Campos Sulinos:
Artrópodes e Hemiptera como bioindicadores**

Camila da Silva Goldas

Porto Alegre, março de 2014

Distúrbio por fogo nos Campos Sulinos: Artrópodes e Hemiptera como bioindicadores

Autoria: Camila da Silva Goldas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientador: Prof. Milton Mendonça Jr.

Co-orientadora: Dr. Luciana Regina Podgaiski

Comissão Avaliadora

Dr. Luiz Alexandre Campos (Zoologia, UFRGS)

Dr. Gerhard Overbeck (Botânica, UFRGS)

Dra. Sandra Hartz (Ecologia, UFRGS)

Porto Alegre, março de 2014

Um homem viveu, há séculos, no Oriente. E eu não posso olhar para uma ovelha, uma andorinha, um lírio, um campo de trigo, uma vinha, uma montanha, sem pensar Nele...

G.K. Chesterton

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida o qual me chamou, me presenteando com uma grande curiosidade e amor pela natureza desde os primeiros dias de minha vida. Hoje me possibilita a realização deste sonho de compreender mais sobre a natureza, mesmo que seja uma pequena parcela desta total complexidade e maravilha que vemos no mundo natural. Nada teria sentido sem Você, muito obrigada!

Aos meus familiares (mãe, pai e Keli mana) por todo amor, apoio e incentivo sempre dedicado a mim, sempre torcendo a cada conquista minha e sempre compreendendo minhas ausências em horas de estudo e trabalho, saídas de campo e muito mais, não seria nada disso possível sem o amor de vocês. Amooo vocês, muito obrigada!

Ao meu namorado Tiago, por todo carinho e amor nestes anos, me acompanhando deste o dia que fiquei sabendo que tinha passado na seleção (dançando a festa no apê para comemorar, hehehe) até a conquista da finalização da minha dissertação! Te amo amor, muito obrigada!

A Luciana Regina Podgaiski, por tantos anos de amizade e ensinamentos que levarei para a vida toda. Considero-te minha mãe da Ecologia, hehe! Sem dúvida não teria chegado até aqui sem tua presença sempre motivada e dedicada a me orientar, muito obrigada por tudooo!

A Claire Pauline Röpke Ferrando, amiga querida, companheira de muuuuitas horas de triagem, congressos e apresentação de IC, saídas de campo, risadas e muito mais, com certeza aprendi muito com tua amizade, e sem você este mestrado também não teria sido possível, muito obrigada!

Ao meu orientador Milton Mendonça pela atenção e dedicação, sempre disposto a me auxiliar e orientar no que fosse necessário, muito obrigada por tudo!

A Amanda Câmara por ter medido parte dos atributos de Hemiptera, sem isso eu não teria conseguido, te agradeço muito!

Aos colegas de Laboratório de Ecologia de Interações pelo companheirismo, amizade, ideias e momentos de descontração, com certeza cada um de vocês faz a diferença em minha vida, vocês são os melhores, muito obrigada!

Aos colegas de Mestrado, pelos momentos de descontração, conversas e toda aprendizagem no curso de campo, muito obrigada!

Ao Fernando Joner pela parceria em nosso projeto, e pela aprendizagem nas saídas de campos de coleta da vegetação, muito obrigada!

A Estação Agronômica da UFRGS pela disponibilização da área para o estudo.

A CAPES pela bolsa e ao PPG Ecologia por toda estrutura disponibilizada e auxílios para idas a congressos, e a todos os professores pelos ensinamentos e experiências no curso de campo, valeu por tudo!

Resumo

Distúrbios são eventos que modificam os processos e a biodiversidade presentes em um ecossistema. Estas mudanças dão origem a um processo de sucessão ecológica, onde o tempo de retorno a o estado anterior ao distúrbio e chamado de resiliência. Organismos bioindicadores são ferramentas amplamente utilizadas na compreensão destas relações entre os distúrbios e os ecossistemas. Campos são ecossistemas altamente diversos, que podem possuir importante relação com o distúrbio de fogo, sendo este possível responsável por modelar sua distribuição e propriedades ecológicas. Os artrópodes são componentes importantes da biodiversidade, e possuem respostas rápidas aos distúrbios, características que os tornam ferramentas importantes no monitoramento desta. Dentre estes a ordem Hemiptera é recorrentemente utilizada como bioindicadora de distúrbios, devido ao fato de sua diversidade estar diretamente ligada à diversidade da vegetação onde estes se encontram. Neste estudo explorei as respostas da comunidade de artrópodes ao distúrbio causado pelo fogo, sendo este o tema do primeiro capítulo desta dissertação, e no segundo capítulo, aspectos da diversidade taxonômica e funcional da ordem Hemiptera (Heteroptera e Auchenorrhyncha) foram utilizados como ferramentas de compreensão dos efeitos do fogo sobre o ecossistema campestre. O experimento de fogo foi conduzido na Estação Experimental Agrônoma da UFRGS em Eldorado do Sul. Instalei sete blocos de unidades experimentais, constituídos por duas parcelas de 10 x 10 m, sendo uma delas queimada em dezembro/2009. Realizei amostragens em quatro períodos: antes da queima e um, seis e 12 meses após a queima. Utilizei armadilhas pitfall no solo (cinco por parcela), e rede de varredura na vegetação (quatro transectos em cada parcela). Os artrópodes coletados foram classificados em ordens e contabilizados. Para a ordem Hemiptera classifiquei os adultos em famílias e os jovens em subordem, e para todos os indivíduos medi atributos morfológicos funcionais. No primeiro capítulo conclui-se que a comunidade de artrópodes responde às mudanças ambientais causados pelo fogo,

com respostas distintas entre ordens, e entre os níveis da vegetação e sobre o solo. No solo, a resiliência dos artrópodes foi mais lenta do que em artrópodes da vegetação, provavelmente devido à reconstituição da camada de serrapilheira acontecer posteriormente à regeneração da vegetação, através da deposição de matéria orgânica morta. No segundo capítulo concluiu que os efeitos do fogo sobre a vegetação campestre afetaram a comunidade de Hemiptera aumentando a abundância e diversidade deste grupo, padrão este que segue a diversificação da vegetação. Quanto aos atributos, o principal atributo selecionado foi aparelho sugador maior nas áreas queimadas. O período de desenvolvimento em que os organismos se encontram, adulto ou imaturo, parece ter sido mais fortemente selecionado pelas alterações do fogo.

Palavras- chave: ecossistemas campestres, atributos funcionais, Auchenorrhyncha, Heteroptera, resiliência de artrópodes, Bioma Pampa, fogo, invertebrados terrestres.

Abstract

Disturbances are events that modify processes and biodiversity present in an ecosystem. These changes lead to an ecological succession process, where the time to return to pre-disturbance state is called resilience. Bioindicators are tools widely used to understand these relationships between disturbances and ecosystems. Grasslands are highly diverse ecosystems and fire disturbance is an important factor there, responsible for shaping their distribution and ecological properties. Arthropods are key biodiversity components, and have fast responses to disturbances. These characteristics make them important tools for biodiversity monitoring. Among arthropods, the order Hemiptera is recurrently used as a bioindicators of disturbance, because their diversity is directly linked to vegetation diversity. This study explored the effects of fire on the arthropod community, which is the theme of the first chapter of this dissertation, and in the second chapter, aspects of taxonomic and functional diversity of the order Hemiptera (Heteroptera and Auchenorrhyncha) were used to understand the fire effects on the grasslands. Fire experiment was conducted at Estação Agronômica Experimental da UFRGS in Eldorado do Sul. I installed seven blocks of experimental units (two plots of 10 x 10 m) and one plot of each were burned in December 2009. Samplings occurred in four periods: before fire and one, six and 12 months after fire. I used pitfall traps in the soil (five per plot), and in vegetation we use sweep net (four transects in each plot). Arthropods collected were identified into orders. I classified the order Hemiptera adults in families and the young in suborders, and for each individual i measured functional morphological attributes. From the first chapter we conclude that the arthropod assemblage responds to environmental changes caused by fire, with distinct responses among arthropod orders and between the vegetation and ground levels. On the ground, arthropod community resilience is slower than for vegetation arthropods, probably due to a delay in the comeback of the litter soil layer which is subsequent to the regeneration of the vegetation, through deposition of dead organic matter. In the second chapter

I conclude that the effects caused by fire affected the Hemiptera community, increasing abundance and diversity of this group. For functional attributes, the sucking apparatus was selected most in burned areas. The developmental period of the organisms, either adult or immature, seems to have been more strongly selected by fire-induced changes.

Key – words: Grasslands ecosystems, functional attributes, Auchenorrhyncha, Heteroptera, arthropod resilience, Pampa Biome, fire, terrestrial invertebrates.

Sumário

Agradecimentos.....	IV
Resumo.....	V
Abstract.....	VII
Lista de figuras	11
Lista de Tabelas.....	15

Introdução 16

Distúrbio fogo e efeitos sobre a biodiversidade.....	16
Campos Sulinos e sua relação com o fogo	18
Descrição geral da dissertação	19
Desenho experimental	20
Referências.....	24

Capítulo I..... 29

Abstract	30
Introduction	31
Material and methods	33
<i>Study site</i>	33
<i>Experimental design</i>	33
<i>Statistical analysis</i>	34
Results	35
Discussion	41
Final considerations and conclusions	45
References	47

Capítulo II.....	54
Resumo	55
Introdução	56
Material e métodos	58
<i>Área de estudo.....</i>	<i>58</i>
<i>Desenho experimental</i>	<i>59</i>
<i>Triagem e medição de atributos</i>	<i>59</i>
<i>Análises estatísticas</i>	<i>60</i>
Resultados	63
Discussão.....	71
Conclusões.....	75
Referências.....	76
Apêndice	87
Considerações finais	91

Lista de Figuras

Introdução

- Figura 1.** Distribuição dos Campos Sulinos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Imagem adaptada de Overbeck et al. (2007)..... 19
- Figura 2.** Desenho experimental de fogo em pequena escala na Estação Agronômica da UFRGS, na cidade de Eldorado do Sul, RS, contendo sete pares de parcelas, sendo que uma foi queimada, e a outra permaneceu como parcela controle.....21
- Figura 3.** Detalhes das parcelas queimadas na Estação Agronômica da UFRGS. (a) visão do bloco com uma parcela já queimada ao lado do controle, ambas envoltas pelo aceiro; (b) parcela logo após o fogo ter sido controlado.....22
- Figura 4.** Métodos amostrais utilizados na coleta dos artrópodes e a disposição destes nos blocos. (a) rede de varredura, e disposição dos transectos (b) pitfall trap enterrado ao chão e a disposição das armadilhas no solo.....23

Capítulo I

- Figure 1.** Experimental design of fire on a small scale in Agronomic Station of UFRGS, in the city of Eldorado do Sul, RS, containing seven pairs of plots, one of which was burned, and the other portion remained as control.....34
- Figure 2.** Mean abundance of vegetation arthropod groups (group's richness, a), total arthropods (b) and individual groups ($n \geq 1\%$; c-i) collected with pitfall traps in experimental plots burned (filled symbols) and control (open symbols) along time. The bolt p values shown significant differences between treatments based on ANOVA in blocks ($n=7$). Error bars represents \pm standard errors.....37
- Figure 3.** Mean abundance of ground arthropods groups (group's richness, a), total arthropods (b) and individual groups ($n \geq 1\%$; c-i) collected with pitfall traps in experimental plots burned (filled

symbols) and control (open symbols) along time. The bold p values shown significant differences between treatments based on ANOVA in blocks (n=7). Error bars represents \pm standard errors..... 38

Figure 4. Ordination diagrams of Principal Coordinates Analysis (PCoA) of vegetation samplings based on the total abundance of groups ($n \geq 1\%$) collected with sweep net in experimental plots burned (filled symbols) and control (open symbols) for each time sampled (a – d). Similarity was measured by Bray –Curtis index. P- values of ANOVA in blocks with permutation tests 39

Figure 5. Ordination diagrams of Principal Coordinates Analysis (PCoA) of ground samplings based on the total abundance of groups ($n \geq 1\%$) collected with pitfall traps in experimental burned (filled symbols) and control (open symbols) plots for each time sampled (a – d). Similarity was measured by Bray-Curtis index. P- values of ANOVA in blocks with permutation tests.....40

Capítulo II

Figura 1. Variáveis morfométricas mensuradas e a descrição da natureza quantitativa dos atributos funcionais dos Hemiptera utilizados no estudo. Largura da cabeça (a), comprimento do aparelho sugador e fêmur (b) e comprimento do corpo..... 60

Figura 2. Análises taxonômicas de indivíduos da subordem Heteroptera (Hemiptera) em experimento de fogo para cada período amostral. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Abundância de adultos (a), de jovens (b), Diversidade de famílias (índice de Simpson) (c); Riqueza de famílias (d), Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão..... 66

Figura 3. Análises taxonômicas de indivíduos da Subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) em experimento de fogo para cada período amostral. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Abundância de adultos (a), de jovens (b), Diversidade de famílias (índice de Simpson) (c); Riqueza de famílias(d). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão..... 67

- Figura 4.** Diagrama de Ordenação da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da composição de famílias de Hemiptera coletados no solo (pitfall) e na vegetação (sweep net) em plots queimados (círculos em negrito) e controle (símbolos abertos) para cada período amostral (a – d). Similaridade foi calculada com índice de Bray-Curtis. Valores de P baseadas em ANOVA em blocos com teste de permutação.....68
- Figura 5.** Análises funcionais de indivíduos da Subordem Heteroptera (Hemiptera) coletados em experimento de fogo para cada período amostral. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e) asa longa (f); e ausência de asa (g). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão..... 69
- Figura 6.** Análises funcionais de indivíduos da Subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador(b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e) asa longa (f); asa curta (g) e ausência de asa (h). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão..... 70

Apêndice

- Figura 1.** Análises funcionais dos adultos da Subordem Heteroptera (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e). Valores de P baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão..... 87
- Figura 2.** Análises funcionais das ninfas da Subordem Heteroptera (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b),

comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão..... 88

Figura 3. Análises funcionais dos adultos da Subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), média das CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador(b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e) asa (presença e ausência) (f); Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão 89

Figura 4. Análises funcionais das ninfas da Subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), média das CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador(b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão..... 90

Lista de Tabelas

Capítulo II

Tabela 1. Atributos funcionais mensurados nos indivíduos de Hemiptera e sua importância funcional para estes no ambiente..... 62

Tabela 2. Abundância de imaturos classificados em Subordens da ordem Hemiptera para cada período amostral, sendo o total para cada subordem (total s), total para cada tratamento (total t) e abundância entre parcelas queimadas (cf_com fogo) e controle (sf_sem fogo) com exceção às parcelas da coleta anterior ao fogo, onde (af1_antes do fogo 1) foram posteriormente queimadas e (af2_antes do fogo 2) permaneceram sem queima como controle..... 63

Tabela 3. Abundância de adultos classificados em famílias da ordem Hemiptera para cada período amostral, sendo o total para cada família (total f), total para cada tratamento (total t) e abundância entre parcelas queimadas (cf_com fogo) e controle (sf_sem fogo) com exceção às parcelas da coleta anterior ao fogo, onde (af1_antes do fogo 1) foram posteriormente queimadas e (af2_antes do fogo 2) permaneceram sem queima como controle..... 64

Introdução

Distúrbios são eventos que causam mudanças estruturais as comunidades naturais alterando o estado de equilíbrio anterior à perturbação (White 1979) levando em consideração que este estado é dinâmico e dependente das características dos ecossistemas (Sprugal 1991). Além disso, os efeitos dos distúrbios aos organismos são dependentes da intensidade de perturbação (força física do evento) (Mallanson 1984, Kennard et al. 2002), escala (área afetada pelo distúrbio) e frequência (número de eventos por período de tempo) (Collins 1992, Collins e Smith 2006). Segundo a hipótese do distúrbio intermediário estes fatores da perturbação quando apresentados em níveis moderados, mantêm maior diversidade nos ecossistemas (Connell 1978).

Logo após a perturbação em um ecossistema, inicia-se um processo de sucessão ecológica, onde se busca alcançar o estado anterior a perturbação (Hanes 1971, Wali 1999). O tempo para haver este retorno das variáveis ecológicas ao equilíbrio é denominado como resiliência (Pimm 1984). Para compreender estes processos a utilização de organismos bioindicadores de alterações ecológicas na biodiversidade e no ecossistema é amplamente utilizada (McGeoch 1998, McGeoch et al. 2002). Espécies cuja presença ou abundância prontamente possam refletir alguma medida de caráter do habitat onde habitam, são denominadas como bioindicadoras (Stork et al. 1996) Nesta dissertação, buscamos compreender estes fatores através do estudo dos efeitos do distúrbio fogo em ecossistemas campestres utilizando os artrópodes como organismos bioindicadores.

Distúrbio fogo e seus efeitos a biodiversidade

Diferentes estudos tem revelado o importante papel do fogo na determinação dos padrões globais da vegetação, atuando como uma importante força evolutiva, selecionando características em indivíduos para sobrevivência em regimes de fogo, e determinando distribuição,

abundância, composição, estrutura e biomassa das comunidades. (Bond e Keeley 2005). O fogo é importante mantenedor da estrutura e função em alguns ecossistemas, mas quando ocorre de maneira uniforme, intensa e em uma ampla área é potencialmente prejudicial para a biodiversidade. Fogo intenso tem um grande impacto negativo sobre as populações de invertebrados e vertebrados (Neary 1999; Reiking 2005) podendo ocasionar em potencial perda total de espécies raras ou populações inteiras (Engstrom 2010). Incêndios podem causar mortalidade e lesões através dos efeitos diretos de calor e gases, mas também pode afetar a dinâmica da comunidade indiretamente dentro de um habitat através de mudanças que este gera na diversidade da vegetação e no solo. (Whelan et al. 2002; Engstrom 2010). Os efeitos indiretos do fogo podem causar alterações do microclima (temperatura, umidade), recursos alimentares ou interações entre outros organismos (Brennan et al. 2011).

Muitas das espécies que vivem nestes ambientes inflamáveis possuem vários aspectos de sua biologia relacionados à presença de fogo. Exemplo dessas relações são sementes que toleram temperaturas elevadas, e não só sobrevivem ao fogo como também são dependentes deste para germinar (Williams et al. 2005; Gashaw e Michelsen, 2002), ou o rebrote rápido da vegetação após o fogo devido a presença de órgãos subterrâneos (Fidelis et al. 2009). Os efeitos do fogo sobre a diversidade de artrópodes são complexos, mas suas respostas estão indiretamente relacionadas a mudanças nos recursos, interações entre espécies, estrutura e heterogeneidade de habitat (Joern and Laws 2013). Os artrópodes são componentes importantes da biodiversidade, e para sua conservação (Morris 2000), possuindo respostas rápidas aos distúrbios, o que os torna importantes ferramentas no monitoramento da biodiversidade (Longcore 1999). Dentre estes, a ordem Hemiptera é recorrentemente utilizada como bioindicadora de distúrbio, sendo sua diversidade diretamente ligada à diversidade da vegetação (Hartley e Gardner 1985; Denno e Roderick 1991; Hartley et al. 2003). Em estudos de avaliação da biodiversidade em ecossistemas sobre ação de distúrbios, historicamente se tem abordado as respostas da diversidade taxonômica dos organismos, como

índices de Simpson, Shannon, riqueza e outros (Loreau et al. 2001). A conservação da funcionalidade dos ecossistemas como provedores de serviços ambientais únicos à vida e ao homem são de extrema importância, e a perda de tais funções é irreparável quando compreendida sua relevância. Por isso, a utilização da abordagem funcional tem sido amplamente discutida e utilizada como ferramenta ou análise complementar à diversidade taxonômica para a compreensão dos efeitos dos distúrbios nos ecossistemas (Vandewalle et al. 2010; Podgaiski et al. 2011).

Campos Sulinos e sua relação com o fogo

Campos são ecossistemas altamente diversos, cobrem cerca de 40% da superfície da Terra (White et al. 2000). Estes podem possuir importante relação com o distúrbio por fogo, responsável por modelar historicamente sua distribuição e algumas de suas propriedades ecológicas (Overbeck e Pfadenhauer 2007; Pillar e Vélez 2010). Os Campos Sulinos se encontram nos três estados da Região Sul do Brasil, sendo incluídos dentro do bioma Pampa e Mata Atlântica (Overbeck et al. 2007). Fogo e pastoreio são agentes importantes nos Campos mantendo a sua biodiversidade (Quadros e Pillar 2001). O fogo aumentou sua frequência na história dos Campos desde o início do Holoceno, provavelmente devido a incêndios antropogênicos, inicialmente com povos indígenas, seguido por colonos europeus. (Behling et al. 2007). Ainda hoje o fogo é usado pelos pecuaristas na região dos Campos de cima da Serra, principalmente para eliminar biomassa acumulada aumentando assim a qualidade da forragem para o pastejo (Fidelis et al. 2010). Este ecossistema foi historicamente ameaçado e negligenciado quanto ao seu manejo e conservação, e necessita do conhecimento sobre o limite entre o uso sustentável e degradação causada por estas perturbações (Overbeck et al. 2007).

Portanto, a questão central abordada na presente pesquisa é a compreensão do padrão de organização funcional de assembléias de artrópodes em resposta as perturbações causadas pelo manejo por fogo em escala de micro-hábitat nos Campos Sulinos.

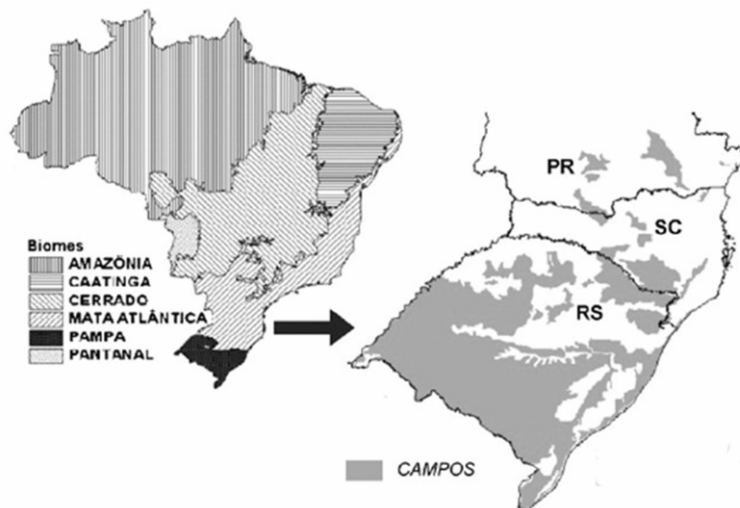


Figura 1. Distribuição dos Campos Sulinos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Adaptado de Overbeck et al. (2007).

Descrição geral da dissertação

Pesquisas avaliando os efeitos do fogo através das respostas das mais diversas ordens de artrópodes vêm sendo realizados em todo mundo (Vasconcelos et al. 2009), mas nos Campos do Estado do Rio Grande do Sul este tipo de estudo não havia sido realizado até o início de nosso projeto. Esta dissertação, portanto, é parte integrante de um projeto amplo com uma abordagem experimental, que possuiu como objetivo geral a compreensão dos efeitos do fogo tanto sobre a organização na comunidade vegetal, parte integrante da tese de doutorado em Ecologia (UFRGS) de Fernando Joner, quanto à organização da comunidade de artrópodes e processos ecossistêmicos, sendo esta abrangida na tese de doutorado em Ecologia de Luciana Regina Podgaiski (UFRGS), onde foram explorados aspectos taxônicos e funcionais das ordens Araneae e Thysanoptera, e os processos de detritivoria e decomposição. Além disso, também foram investigados aspectos

taxonômicos e funcionais da ordem Orthoptera no trabalho de conclusão do curso de ciências biológicas (UFRGS) de Claire Pauline Ropke Ferrando. Neste estudo, exploro as respostas do fogo primeiramente sobre toda a comunidade de artrópodes em níveis taxonômicos superiores (como ordem), sendo este o tema do primeiro capítulo desta dissertação. No segundo capítulo, aspectos da diversidade taxonômica e funcional da ordem Hemiptera somente para as subordens Heteroptera e Auchenorrhyncha foram abordados como ferramentas de compreensão dos efeitos do fogo sobre o ecossistema campestre.

Desenho experimental

O estudo foi conduzido em pastagem natural da Depressão Central do Rio Grande do Sul, Brasil, na Estação Experimental Agronômica da UFRGS (Eldorado do Sul, 30 ° 05'22 "S e 51 ° 39'08" W). A vegetação da região é caracterizada por campos e matas ciliares ao longo dos cursos de água. Amostras foram coletadas em uma área de aproximadamente 50 hectares, e esta área tem-se mantido em repouso (sem manejo, inclusive pelo gado) por pelo menos três anos antes do início do experimento.

Utilizei sete blocos de unidades experimentais, cada um composto por duas parcelas de 10 x 10 m, com 5 m de distância entre estas (Fig. 2). Em cada bloco, uma das parcelas foi queimada em dezembro de 2009, e a outra foi considerada como controle (Fig.3). Antes da queima realizei aceros no entorno das parcelas (corte raso da vegetação) e os molhei (com auxílio de um caminhão pipa) para prevenir escape de fogo da parcela. Coloquei fogo em um lado da parcela, e este, dissipado pelo vento, chegava até o outro lado, onde apaguei com abafadores e água do caminhão pipa.

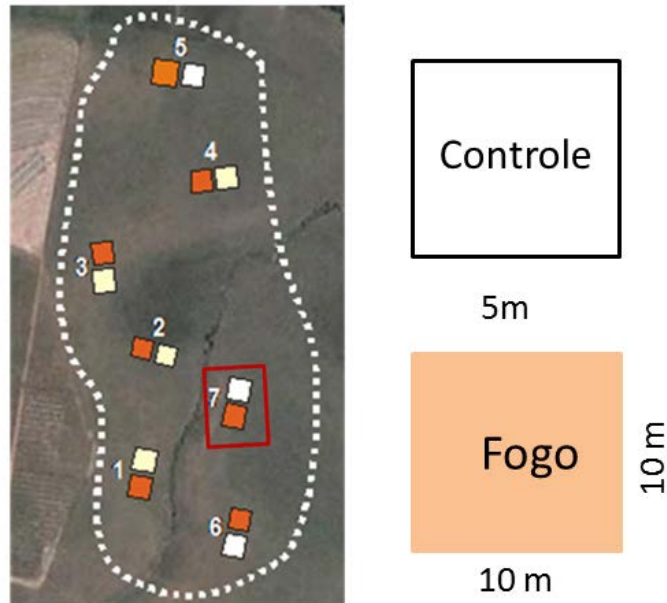


Figura 2. Desenho experimental de fogo em pequena escala na Estação Agronômica da UFRGS, na cidade de Eldorado do Sul, RS, contendo sete pares de parcelas, sendo que uma foi queimada, e a outra permaneceu como parcela controle.

Os invertebrados foram coletados através de dois diferentes métodos: armadilhas *pitfall* e rede de varredura (Fig. 4). Juntos, esses métodos permitiram amostragem de artrópodes que vivem sobre o solo, bem como os artrópodes de vegetação. Os *pitfalls* consistiam em potes de plástico com um diâmetro exterior superior de nove centímetros, que foram implantados no nível do solo. Estes foram preenchidos com 200 ml de álcool 70%. Os *pitfalls* permaneceram abertos no campo por quatro dias e, terminado este período foram removidos e levados para o laboratório para triagem dos organismos. Coleta com redes de varredura foi realizada em quatro transectos padronizados dentro das parcelas totalizando 16 varreduras por transecto em dois períodos distintos do dia: uma pela manhã e outra à tarde. Os artrópodes foram separados em ordens e contabilizados. As amostras foram coletadas em quatro períodos: antes do fogo (novembro 2009), um mês (janeiro 2010), seis meses (julho 2010) e um ano após o fogo (dezembro 2010).



Figura 3. Detalhe das parcelas queimadas na Estação Agronômica da UFRGS. (a) visão do bloco com uma parcela já queimada ao lado do controle, ambas envoltas pelo aceiro; (b) parcela logo após o fogo ter sido controlado.

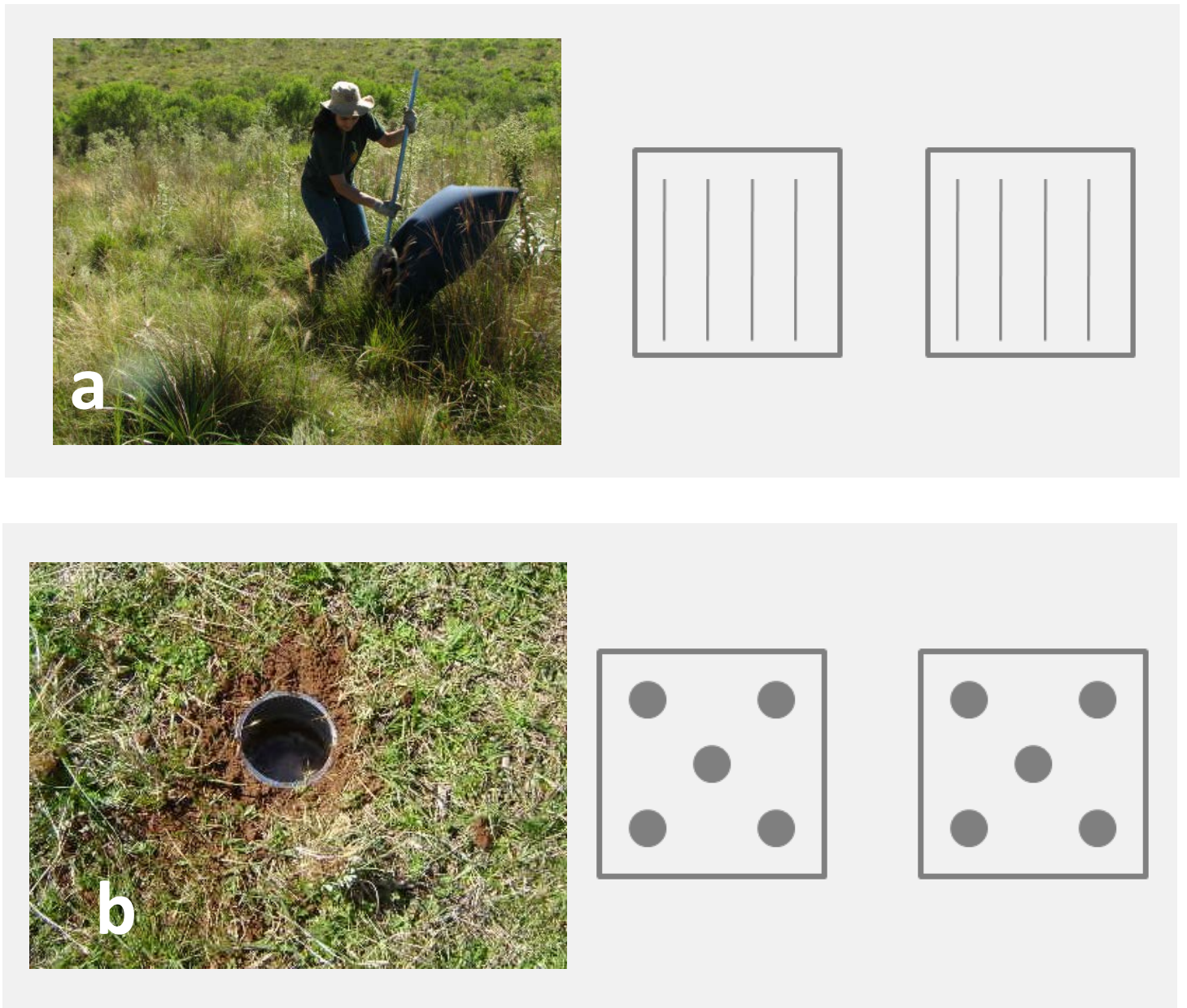


Figura 4. Métodos amostrais utilizados na coleta dos artrópodes e a disposição destes nos blocos. (a) rede de varredura, e disposição dos transectos (b) *pitfall trap* enterrado ao chão e a disposição das armadilhas no solo da parcela.

Referências

- Behling, H., Pillar, V. D., Müller, S. C., and Overbeck, G. E. (2007) Late-Holocene fire history in a forest-grassland mosaic in southern Brazil: Implications for conservation. *Applied Vegetation Science* 10: 81-90.
- Bond, W. J., e J. E. Keeley. (2005) Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 387–394.
- Brennan, K. E., Moir, M. L., e Wittkuhn, R. S. (2011). Fire refugia: the mechanism governing animal survivorship within a highly flammable plant. *Austral Ecology*, 36(2), 131-141.
- Collins, S. L. (1992). Fire frequency and community heterogeneity in tallgrass prairie vegetation. *Ecology*, 73(6), 2001-2006.
- Collins, S. L., and Smith, M. D. (2006). Scale-dependent interaction of fire and grazing on community heterogeneity in tallgrass prairie. *Ecology*, 87(8), 2058-2067.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335), 1302-1310.
- Denno, R. F., e Roderick, G. K. (1991). Influence of patch size, vegetation texture, and host plant architecture on the diversity, abundance, and life history styles of sap feeding herbivores. In *Habitat Structure* (pp. 169-196). Springer Netherlands.
- Engstrom, R. T. (2010). First-order fire effects on animals: review and recommendations. *Fire ecology*, 6(1), 115-130.
- Fidelis, A., Appezzato-da-Glória, B., e Pfadenhauer, J. (2009). A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. *Campos Sulinos*, 88.

- Fidelis, A. T., Delgado Cartay, M. D., Blanco, C. C., Muller, S. C., Pillar, V. D. P., e Pfadenhauer, J. S. (2010). Fire intensity and severity in Brazilian Campos grasslands. *Interciencia: revista de ciencia y tecnologia de america*. Caracas. Vol. 35, n. 10 (Oct. 2010), p. 739-745.
- Gashaw, M., e Michelsen, A. (2002). Influence of heat shock on seed germination of plants from regularly burnt savanna woodlands and grasslands in Ethiopia. *Plant Ecology*, 159(1), 83-93.
- Hanes, T. L. (1971). Succession after fire in the chaparral of southern California. *Ecological monographs*, 27-52.
- Hartley, S. E., e Gardner, S. M. (1995). The response of *Philaenus spumarius* (Homoptera: Cercopidae) to fertilizing and shading its moorland host-plant (*Calluna vulgaris*). *Ecological Entomology*, 20(4), 396-399.
- Hartley, S. E., Gardner, S. M., and Mitchell, R. J. (2003). Indirect effects of grazing and nutrient addition on the hemipteran community of heather moorlands. *Journal of Applied Ecology*, 40(5), 793-803.
- Joern, A., and Laws, A. N. (2013). Ecological mechanisms underlying arthropod species diversity in grasslands. *Annual review of entomology*, 58, 19-36.
- Kennard, D. K., Gould, K., Putz, F. E., Fredericksen, T. S., and Morales, F. (2002). Effect of disturbance intensity on regeneration mechanisms in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 162(2), 197-208.
- Longcore, T. R. (1999). Terrestrial arthropods as indicators of restoration success in coastal sage scrub (Doctoral dissertation, UNIVERSITY OF CALIFORNIA Los Angeles).

Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., e Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294(5543), 804-808.

Malanson, G. P. (1984). Intensity as a third factor of disturbance regime and its effect on species diversity. *Oikos*, 411-413.

McGeoch, M. A., Van Rensburg, B. J., and Botes, A. (2002). The verification and application of bioindicators: a case study of dung beetles in a savanna ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 39(4), 661-672.

McGeoch, M. A. (1998). The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 73(02), 181-201.

Morris, M. G. (2000). The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. *Biological conservation*, 95(2), 129-142.

Neary, D. G., Klopatek, C. C., DeBano, L. F., e Ffolliott, P. F. (1999). Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest ecology and management*, 122(1), 51-71.

Overbeck, G.; Müller, S.; Fidelis, A.; Pfadenhauer, J.; Pillar, V.; Blanco, C.; Boldrini, I.; Both, R. e Forneck, E. (2007). Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives. Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9: 101-116.

Overbeck G.E, Pfadenhauer J (2007) Adaptive strategies in burned subtropical grassland in southern Brazil. *Flora* 202:27-49

Pillar, V. D., & Vélez, E. (2010). Extinção dos Campos Sulinos em unidades de conservação: um fenômeno natural ou um problema ético. *Natureza & Conservação*, 8(1), 84-86.

Pimm, S. L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307(5949), 321-326.

Podgaiski, L. R., Mendonça Jr, M. D. S., e Pillar, V. D. P. (2011). O uso de Atributos Funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: O que, como e por quê? *Oecologia Australis*, 15(4), 835-853.

Quadros, F. L. F. D., e Pillar, V. D. P. (2001). Dinâmica vegetacional em pastagem natural submetida a tratamentos de queima e pastejo. *Ciência rural*. Santa Maria. Vol. 31, n. 5 (set./out. 2001), p. 863-868.

Reinking, D. L. (2005). Fire regimes and avian responses in the central tallgrass prairie. *Studies in Avian Biology*, 30, 116.

Sprugel, D. G. (1991). Disturbance, equilibrium, and environmental variability: what is 'natural' vegetation in a changing environment? *Biological conservation*, 58(1), 1-18.

Stork, N. E., Samways, M. J., and Eeley, H. A. (1996). Inventorying and monitoring biodiversity. *Trends in ecology and evolution*, 11(1), 39-40.

Vandewalle M, de Bello F, Berg MP, Bolger T, Dolédec S, Dubs F, Feld CK, Harrington R, Harrison PA, Lavorel S, da Silva PM, Moretti M, Niemela J, Santos P, Sattler T, Sousa JP, Sykes MT, Vanbergen AJ, Woodcock BA (2010) Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms. *Biodivers Conserv* 19:2921-2947

Vasconcelos, H. L., Pacheco, R., Silva, R. C., Vasconcelos, P. B., Lopes, C. T., Costa, A. N., and Bruna, E. M. (2009). Dynamics of the leaf-litter arthropod fauna following fire in a neotropical woodland savanna. *PloS one*, 4(11), e7762.

Wali, M. K. (1999). Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and soil*, 213(1-2), 195-220.

Whelan, R.J., L. Rodgerson, C.R. Dickman, and E.F. Sutherland. (2002) Critical life processes of plants and animals: developing a process-based understanding of population changes in fire-prone

landscapes. Pages 94-124 in: Flammable Australia: the fire regimes and biodiversity of a continent. Cambridge University Press, United Kingdom.

Williams, P. R., Congdon, R. A., Grice, A. C., e Clarke, P. J. (2005). Germinable soil seed banks in a tropical savanna: seasonal dynamics and effects of fire. *Austral Ecology*, 30(1), 79-90.

White, P. S. (1979). Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *The botanical review*, 45(3), 229-299.

White, R. P., Murray, S., e Rohweder, M. (2000). Grassland ecosystems (p. 81). Washington, DC, USA: World Resources Institute.



Capítulo I

Ground arthropods are less resilient to small scale fire than vegetation arthropods in South Brazilian grasslands

Camila da Silva Goldas¹, Luciana Regina Podgaiski^{1 2},
Claire Pauline Röpke Ferrando¹, and Milton de Souza Mendonça Jr.¹

¹Laboratório de Ecologia de Interações, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, 91540-000, RS, Brazil.

²Laboratório de Ecologia Quantitativa, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, 91540-000, RS, Brazil.

**Artigo a ser submetido à revista
Biodiversity and Conservation**

Abstract

Fire disturbance in grasslands modifies the habitat properties of vegetation for different species group, reorganizing communities. Arthropods are a very diverse group, and they generally show quickly responses to disturbances, thus being important tools for understanding its effects. In this research, we aimed to understand the effects of fire on vegetation and ground arthropods responses on a small scale fire experiment in Southern Grasslands in Brazil. We installed seven blocks of two adjacent experimental units (plots of 10 x 10 m) in natural grassland, and one plot in each block was burned in December 2009. I sampled arthropods at four dates: before fire and one, six and 12 months after fire, with pitfall traps and sweep net methods, i.e. separating between arthropods from the litter layer and from the vegetation. We demonstrated that on the ground one month after the fire the order richness decreased in burned areas, as well as abundance of Hemiptera, Coleoptera and Opiliones. Six months after the fire, total abundance and abundance of Coleoptera and Orthoptera increased in burned areas. For vegetation arthropods, there was an increase of richness, total abundance and of Hemiptera, Hymenoptera, Coleoptera and Diptera in burned plots one month after fire. The composition of orders was distinct among treatments on the ground one month and six months after the fire and in vegetation only one month after fire. The resilience of vegetation arthropods was faster, possibly due to rapid regrowth and high forage value of post-fire vegetation. For ground arthropods, resilience occurred later, probably due to recovery of a litter layer burned by fire happening secondarily to the regrowth of vegetation.

Keywords: Grasslands fire, management, burning, disturbance effects.

Introduction

Disturbances are events that alter the structure of an ecosystem, with different consequences at each hierarchical level, from the individual to the landscape (Pickett et al. 1989). Fire disturbances determine the distribution and shape the characteristics of several ecosystems worldwide, especially grasslands, savannas and shrublands (Bond and Keeley, 2005; Bond et al. 2005). Biomass structure is always reduced by fire (Bond et al. 2005), however, understanding fire effects in detail is complex, and fire intensity, scale and frequency all potentially important for this understand (Schowalter 2006). Fire effects can be categorized as first-order or direct effects that occur over a short time period of days or weeks, second-order or indirect effects that are influenced by variation in fire characteristics and historical fire interval, and finally third-order effects which represent the evolutionary effects of fire on the organisms (Whelan 2002).

Fire modifies important elements of habitat, through changes of soil and vegetation properties. During burning, fire consumes some complex organic molecules (contained in plants, litter, animals, etc.) and turns them into mineral products (Bond and Keeley 2005). Some plant species are stimulated in growth or reproduction by burning and/or only found in burned areas due to the space opened by burns, facilitating their development and changing the vegetation community composition and structure (Fidelis et al. 2008; Fidelis 2008) even if sometimes only for relatively short periods (Overbeck et al. 2005). Litter and vegetation when burned provided higher light incidence at the ground level (Gill et al. 1999), leaving the soil warmer and drier (Callahan et al. 2003). Fire acts as a natural selection agent over plant traits in grassland communities, and for some plant species the presence of subterranean organs (bulbs, storage roots, etc.) facilitate energy storage and a rapid resprouting (Fidelis 2008; Fidelis et al. 2009) and some dominant tussock grasses resprout easily and can be considered highly adapted to fire (Overbeck and Pfadenhauer 2006). After disturbance in an ecosystem, an ecological succession process begins, where it seeks to

reach a state of equilibrium present before of the disturbance (Hanes 1971, Wali 1999). Resilience can be considered the time needed to return a previous state to the disturbance (Pimm 1984).

Arthropods are one of the most diverse animal groups in grasslands, and their diversity is directly related to vegetation structure (Morris 2000). It has been shown that than more diverse and structurally complex are the grassland, its support more herbivorous insects and web-building spiders (Borges and Brown 2001; Podgaiski et al. 2013). Arthropod communities resilience to fire depends on the interaction of three main factors: a) mortality rates (direct effects) b) the experienced in the post-fire period (indirect effects), and 3) the ability of the different species to recolonize the site (Swengel 2001). Many arthropods, in soil or litter, play an important role in litter decomposition, mineralization, soil turnover, etc., and the changes caused by fire (more stressful environment, absence of spatial refuges) can affect this arthropod ground community and the ecosystem services influenced by them (Neary et al. 1999; Callaham et al. 2003).

Here, we investigate the fire effects in both ground and vegetation arthropod communities in South Brazilian Grasslands. Using an experimental design based on replicated paired burned and control plots, we monitored the dynamics of these assemblages before and along one year after a small-scale fire, and evaluated their resilience time. We wish to answer specifically these three questions: 1) How arthropod total abundance and order richness are affected by a fire disturbance event? 2) Does arthropod group composition differ between burned and unburned areas? Are some groups benefited whilst others are harmed? 3) Does the resilience after fire differ for arthropods on the ground and in the vegetation?

Methods

Study Site

The study was conducted in natural grasslands of the Central Depression of Rio Grande do Sul State, Brazil, at Estação Experimental Agronômica of UFRGS (Eldorado do Sul; 30°05'22" S and 51°39'08" W). Fire in Campos Sulinos can be natural, but is recurrent in this ecosystem mainly due to anthropogenic action, formerly caused by indigenous, and in the latter centuries by European settlers (Behling et al. 2007). Nowadays, it is mostly used by farmers to reduce accumulated dead grass biomass and to increase forage quality for grazing (Fidelis 2010). Climate in the region is subtropical, with an average rainfall of 1,445 mm per year with hot summers and cold winters and no dry season (Cfa type of Köppen-Geiger climate classification; Peel et al. 2007). The vegetation is characterized by natural grasslands and riparian forests along water courses. Samples were collected in an area of approximately 50 hectares, and this area was remained undisturbed for at least three years prior to the experiment.

Experimental design

We established 7 blocks of experimental units composed each by two 10 m x 10 m plots, 5 m apart from each other (Fig. 1). All were situated on hillsides to standardize positions. One plot of each pair was randomly chosen to be burned in December/2009 and the other served as a control. Arthropods were collected in four periods: before burning and one, six and 12 months after burning (see sampling dates in Table 1). In each sampling period, arthropods on the vegetation were collected with sweep-net in one morning and one afternoon in four standardized transects within each plot. Epigaeic arthropods were collected with five pitfall traps per plot left open for four days, half-filled with approximately 200ml of 70% alcohol and a few detergent drops.

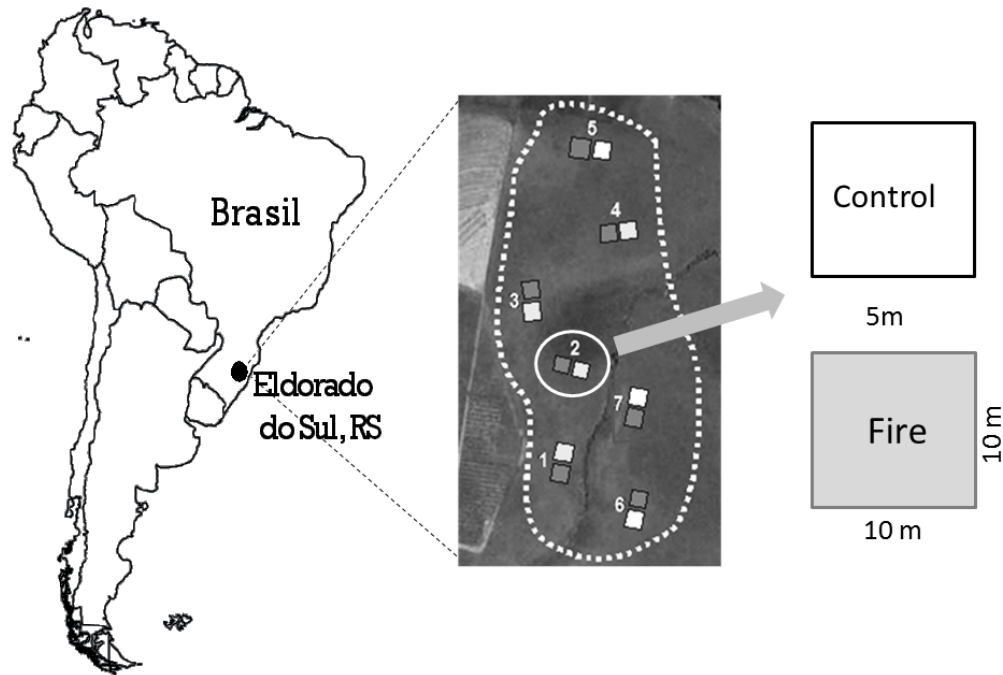


Figure 1 Experimental design of fire on a small scale in Agronomic Station of UFRGS, in the city of Eldorado do Sul, RS, containing seven pairs of plots, one of which was burned, and the other portion remained as control.

Statistical analysis

We searched for differences between treatments within each sampling date and sampling method (sweep net and pitfall) with ANOVA in blocks (1000 permutations) comparing order richness (number of arthropod orders per plot), total arthropod abundance and abundance for each order with $N \geq 1\%$ of the total. With the same date we do 3 factors ANOVA including block, treatment (fire) and time as factors, and the interaction between time and treatment. These analyses were performed by MULTIV (Pillar 1997). Major patterns among treatments for each sampling period were investigated with Principal Coordinates Analyses (PCoA) with similarity measured by Bray-Curtis index, based on order composition of the groups with $N \geq 1\%$ of the total for each plot. For the PCoA we used PAST (Hammer et al. 2001). Differences in composition between the

treatments were tested with ANOVA in blocks (1000 permutations) on MULTIV. Abundance data were transformed by Log (x+1).

Results

A total of 20.835 arthropods were collected (66% from vegetation, 34% from ground) belonging to 24 orders. In the vegetation, the most abundant orders were Hemiptera (20%), Hymenoptera (13%) and Diptera (10%), and on the ground the most abundant were Hymenoptera (41%), Coleoptera (17%) and Hemiptera (12%).

Our results indicate that arthropod order richness did not differ significantly between treatments after fire neither in the vegetation (Fig. 2a) nor on the ground (Fig. 3a). An interaction was found between the effects of treatment and sampling time for vegetation order richness ($P = 0.01$).

For total abundance of arthropods in vegetation (Fig. 2b) there was a significant increase in burned plots one month after fire. On the ground (Fig. 3b) we found a higher total abundance of arthropods in burned plots six months after fire, with a similar pattern after one year. Was found interaction between fire and time for abundance of arthropods of vegetation ($P = < 0.001$) both as soil ($P = < 0.001$).

In the vegetation, abundances for each order were significantly higher one month after the fire in fire treatments for the orders Hemiptera (Fig. 2c), Hymenoptera (Fig. 2d), Diptera (Fig. 2e) and Coleoptera (Fig. 2i). While the fire appears to have changed the abundance of the orders cited above on the ground layer for some sample dates, for Araneae and Diptera, and in the vegetation, for Orthoptera and Thysanoptera, no significant differences between treatments were observed. Among the orders, Hemiptera ($P = < 0.001$), Hymenoptera ($P = 0.03$) e Diptera ($P = 0.01$) showed interaction between treatment and time. For the abundance of each order on the ground, we found interaction between time and treatment the orders Coleoptera ($P = < 0.001$), Orthoptera ($P = <$

0.001) e Opiliones ($P=0.02$). We obtained a significant increase in the number of individuals in burned plots six months after fire for Orthoptera (Fig. 3g) and Coleoptera (Fig. 3d), and a similar pattern also for Opiliones (Fig. 3i) six months after fire. Hymenoptera had a significant increase in burned plots a year after fire (Fig. 3c). For Hemiptera (Fig. 3e) and Opiliones (Fig. 3i) there was a lower abundance in burnt plots one month after fire. The differences between plots caused by fire seem to disappear in the vegetation arthropods six months after the fire (Fig. 2), when most of the differences between the control and burned plots have disappeared. In the meantime, the effect on the ground (Fig. 3) appeared to take a longer time to disappear with no differences between plots only one year after the fire, and that except for the order Hymenoptera.

This pattern is apparent also in the Principal Coordinates Analyses where on the ground (Fig. 5) there was a significant difference between composition in burnt and control plots one month and six months after fire (Fig. 3b-c) a difference not found one year after fire (Fig. 3d). In the ordinations for vegetation sampling (Fig. 4), we obtained a significant difference between treatments just one month after the fire (Fig. 4b), after six months we cannot see a distinction anymore (Fig. 4d).

Vegetation Arthropods

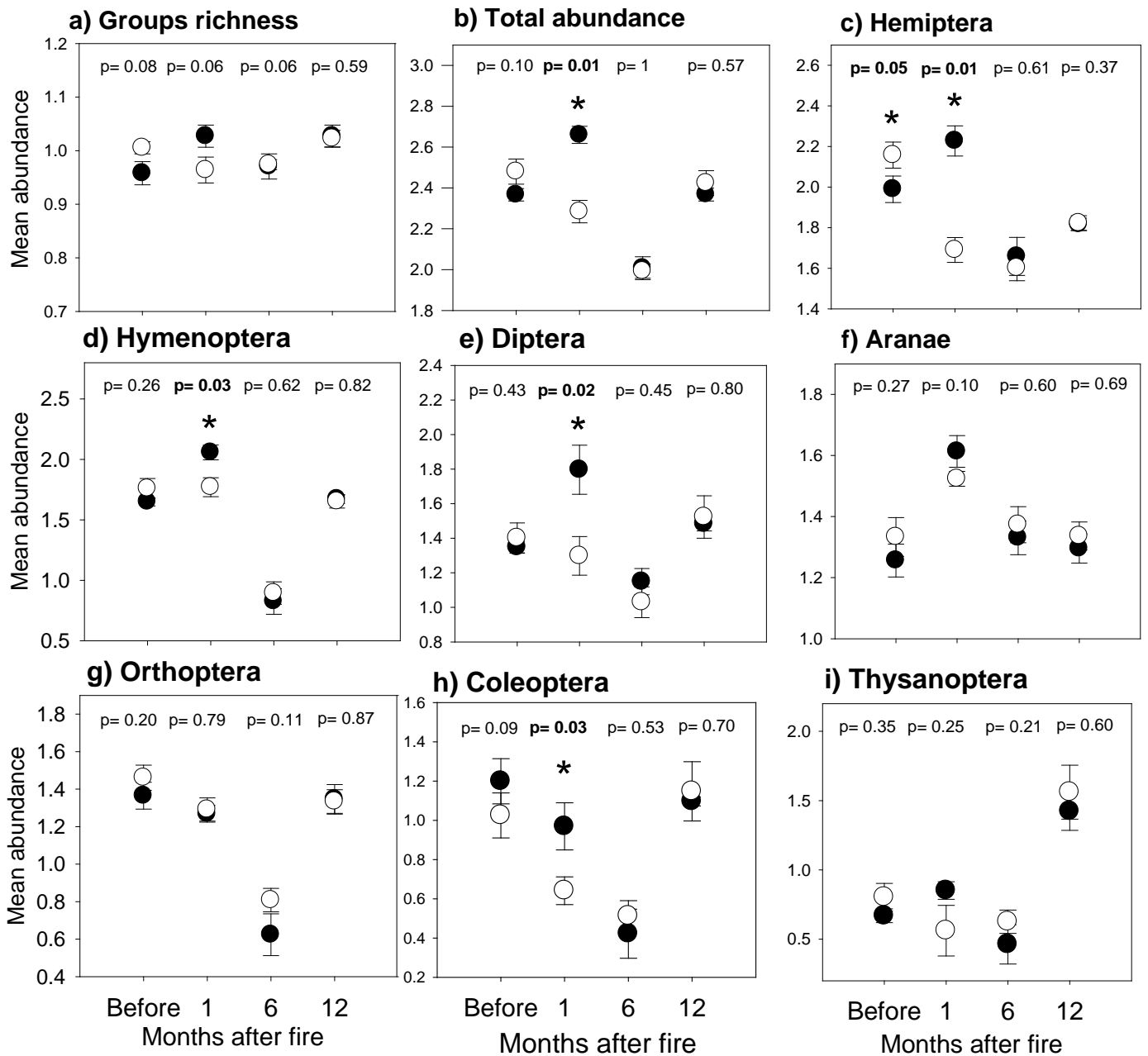


Figure 2: Mean abundance of vegetation arthropod groups (group's richness, a), total arthropods (b) and c-i) individual groups with $n \geq 1\%$; collected with sweep net in experimental plots burned (filled symbols) and control (open symbols) along time. The bold p values shown significant differences between treatments based on ANOVA in blocks ($n=7$). Error bars represent \pm standard errors.

Ground Arthropods

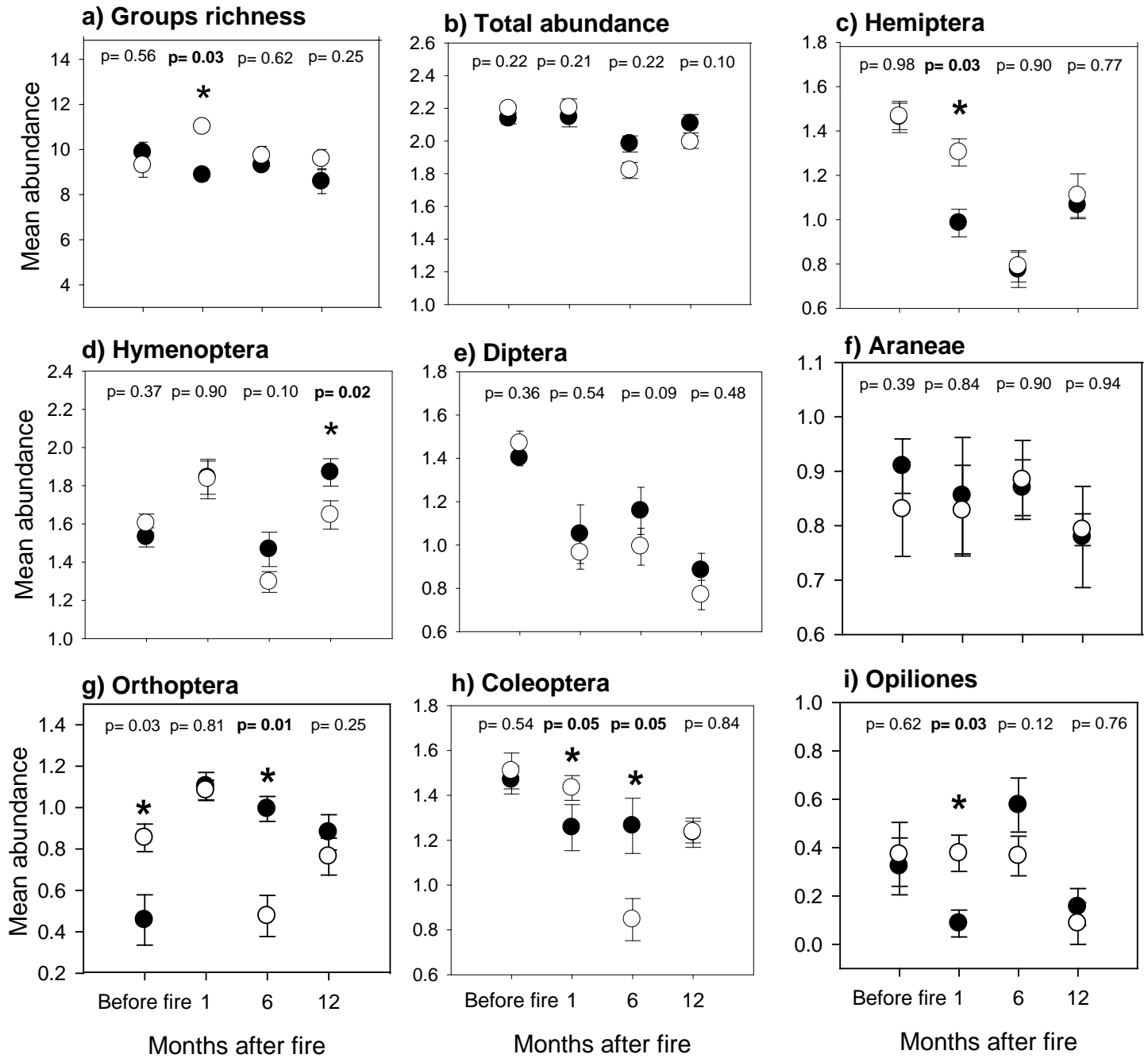


Figure 3: Mean abundance of ground arthropod groups (group's richness, a), total arthropods (b) and c-i) individual groups with $n \geq 1\%$; collected with pitfall traps in experimental plots burned (filled symbols) and control (open symbols) along time. The bolt p values shown significant differences between treatments based on ANOVA in blocks (n=7). Error bars represents \pm standard errors.

Ordination diagrams of vegetation arthropods order composition

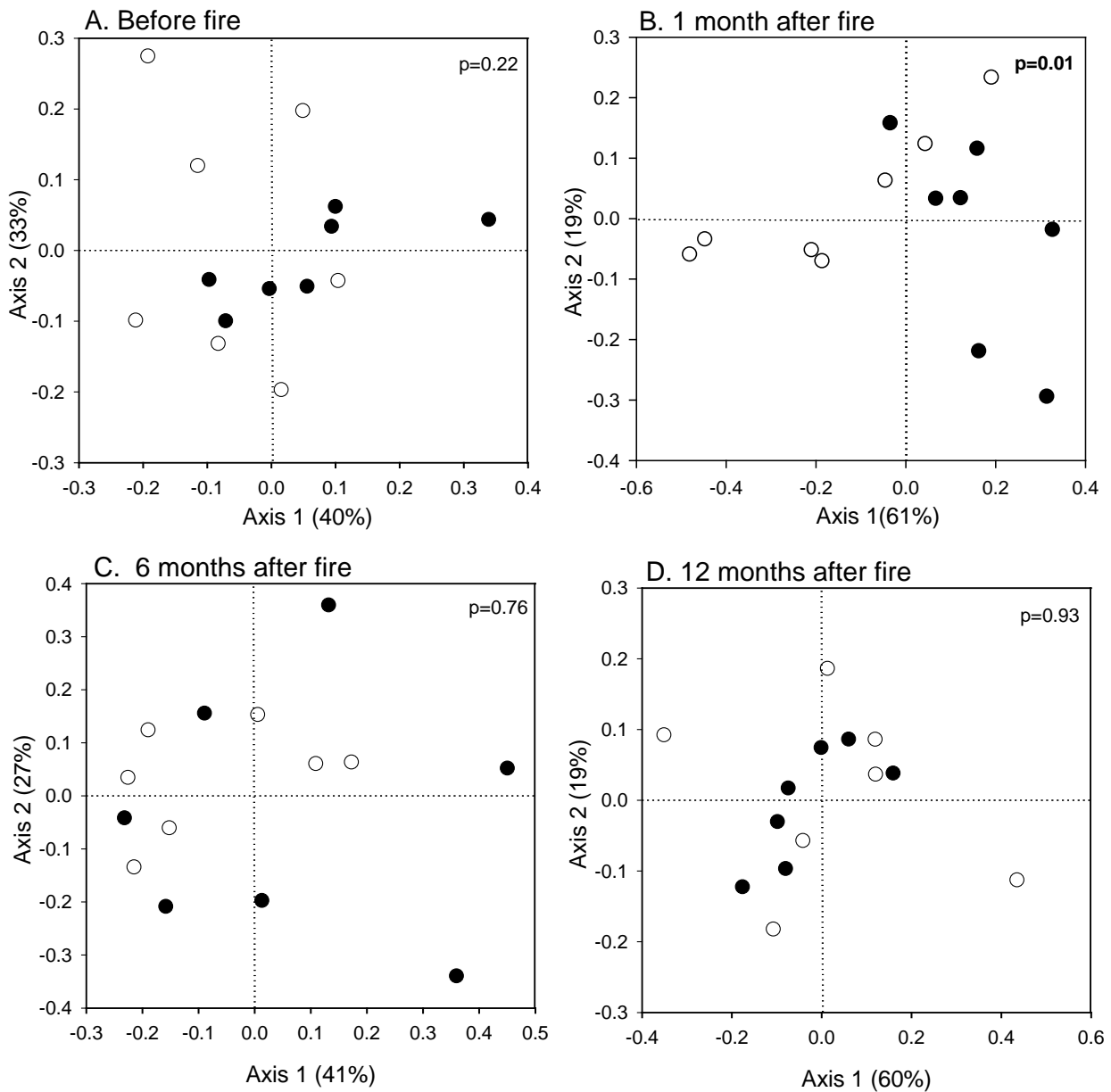


Figure 4. Ordination diagrams of Principal Coordinates Analysis (PCoA) of arthropods sampled in vegetation based on the total abundance of groups ($n \geq 1\%$) collected with sweep net in experimental burned (filled symbols) and control (open symbols) plots for each time sampled (a – d). Similarity was measured by Bray-Curtis index. P- values of ANOVA in blocks with permutation tests.

Ordination diagrams of ground arthropods order composition

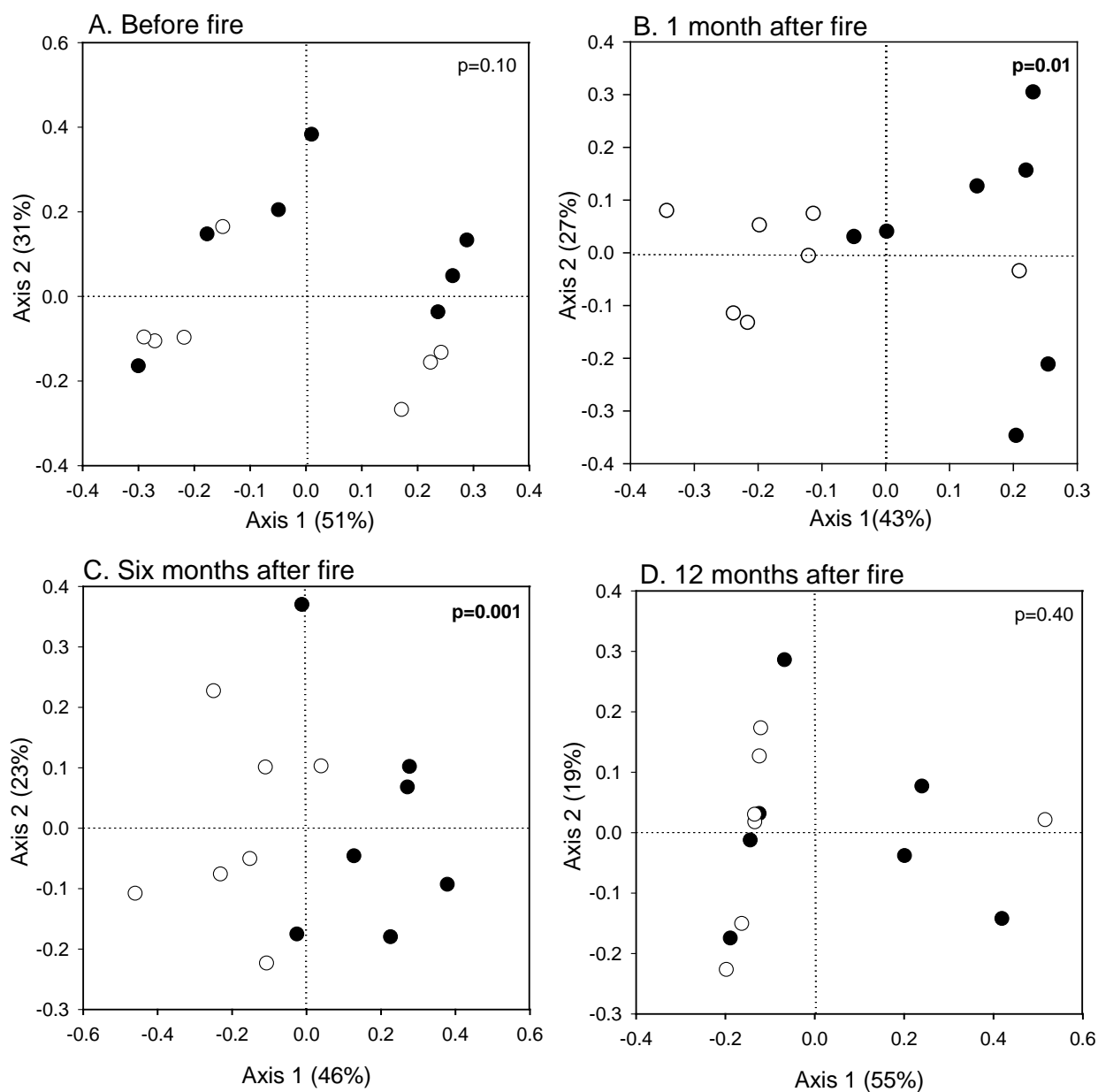


Figure 5. Ordination diagrams of Principal Coordinates Analysis (PCoA) of ground samplings based on the total abundance of groups ($n \geq 1\%$) collected with pitfall traps in experimental burned (filled symbols) and control (open symbols) plots for each time sampled (a – d). Similarity was measured by Bray-Curtis index. P- values of ANOVA in blocks with permutation tests.

Discussion

How arthropod total abundance and order richness are affected by a fire disturbance event?

Our results demonstrated that vegetation arthropods increased in richness and total abundance in burned areas one month after fire; this may be a response to the effects of fire on the vegetation, since we observed resprouting and new growth of several plants at this time. Fire removes dominant species by opening gaps in the vegetation and decreasing plant competition for space, which allows less competitive species to establish, increasing vegetation richness, and spatial heterogeneity (Denslow 1985; Pickett 1989). Some studies on the influence of fire on grassland vegetation in southern Brazil have shown that the vegetation have a quickly recover (Eggers and Porto 1994; Quadros and Pillar 2001), being adapted by the fire regime, specifically on effects of a single fire event in the Campos Sulinos (Overbeck et al. 2005). The increase in plant richness and habitat heterogeneity may provide a higher availability of limiting resources, such as microhabitats and favorable abiotic conditions, needed to support this higher richness of arthropods (Joern and Laws 2013).

Fire generally removed the existing litter layer on the ground, leaving the soil more exposed to sunlight, which reduces moisture and organic matter used both as food and refuges for arthropods (Neary et al. 1999; Podgaiski et al. 2013). These changes may possibly explain the reduction in arthropod richness on the ground in burnt plots in the first month after the fire, where arthropod orders less tolerant of fire effects could have been excluded from burned plots. Overbeck et al. (2005), working with fire effects on the vegetation in southern Brazilian grasslands, showed that in plots that had been sampled three months and one year after an experimental burn, significant changes were observed in litter cover and the cover of standing dead biomass increased significantly, while open soil decreased. Probably in our study the litter layer has been recovered by

deposition of leaves that sprouted after fire, which may explain the increased abundance of arthropods six months after fire on the ground in burnt plots.

Does arthropod group composition differ between burned and unburned areas? Are some groups benefited whilst others are harmed?

Fire changes characteristics of the vegetation, increasing plant richness (Podgaiski et al. 2013), stimulating flowering (Lamont and Downes 2011) and inducing regrowth in the grasslands (Quadros and Pillar 2001), which may attract certain arthropod orders that can benefit from the higher availability of food resources. Fire event knowingly cause changes in plant species composition (Laurence, 2003) and composition of the plant community defines its physical structure, which influences important ecological responses by arthropods (Schaffers et al. 2008). The arthropod communities usually have idiosyncratic responses to fire disturbances (Warren et al. 1987). The ordination of abundance data of different arthropod orders sampled in the vegetation showed a separation of treatments only at the first sampling data, one month after fire. We have seen that, in the vegetation, abundance of orders Hemiptera, Hymenoptera, Diptera and Coleoptera increased in abundance one month after the fire. These orders are among the most abundant in these ecosystems and possess several distinct characteristics. Their individuals may have important relationships with vegetation, like pollination, herbivory and others. Diptera adults may be pollinators, scavengers or have many other habits, and their larvae can be phytophagous (e.g. leaf miners, galling, etc.) or even predators (Grimaldi 2005). Van Amburg et al. (1981) observed different responses among dipteran families after spring burning of tallgrass prairie in Minnesota. Families which are generally predaceous as larvae were more abundant in unburned than burned plots and those whose larvae are often root maggots, leaf miners or feed on growing plants, were more abundant in burned plots, possibly in response to the lush regrowth. Hemiptera are dominant grasslands insects (Meyer and Root 1993), and comprise a wide array of feeding strategies, although best known as herbivores with distinct feeding guilds, where individuals can feed on

different plant parts as mesophyll, xylem, phloem, and seeds (Moir and Brennan 2007). They can be host-specific (Hodkinson and Casson 1991; Fensham 1994) or polyphagous, feeding from different plants (Brown and Southwood 1983). The plant composition is an important factor usually related with hemipteran assemblage composition (Moir et al. 2005). Hymenoptera also has a broad relationship with vegetation, using as habitat and food resources for the herbivores, pollinators and others (Grimaldi and Engel 2005). From the total of Hymenoptera collected in our study, 80% of this was Formicidae. This family of Hymenoptera is widely used as bioindicators of disturbance, having opportunistic individuals in whom benefiting from the conditions of the ecosystem after these events, such as vegetation removal that would facilitate the invasion of these environments (King et al. 1998). Zimmer and Paramenter (1998) in a study with *Pogonomyrmex rugosus* (Hymenoptera: Formicidae) where they analyzed some variables about the foraging activity of this specie before and after an experimental fire in a desert grassland site in central New Mexico, founded that the ants exhibited no significant changes in any variable following the fire, with the exception of an increased number of insects being collected following the burn. According to this study the seed reserves remained after fire, supporting the foraging ants, and these have too benefited collecting as food others arthropods that died during the fire. Probably factors such as the opening of the vegetation, or increased food availability after disturbance by fire may have allowed the increased abundance of this group in our study.

Leaf litter arthropods play an important role in nutrient cycling and other biogeochemical processes (Lavelle 1997), and the burning of litter and sanding dead biomass affects these organisms strongly. The diversity of the litter fauna is determined by litter structure and nutrients (Smith and Braford, 2003). Our ordinations of the composition of arthropod orders on the ground depicted differences between treatment and control one and six months after fire. Hemiptera, Coleoptera and Opiliones showed significantly lower abundance in burned plots one month after fire. Coleoptera and Orthoptera increased in abundance in burnt plots six months after

fire and Hymenoptera increased one year after fire. Fire consumes the stand dead biomass of grasses (Gimingham 1972) changing this habitat, with Hulbert (1969), for example, finding that both burning and hand litter removal increased soil temperatures in a grassland by 5°C. Even the early sprouting of grasses after litter removal may be more a result of increased soil temperature, than of changes in nutrient availability produced by fire (Penfound 1964). Apparently, these effects may have excluded some organisms under the ground during the first months. At six months, the increase in abundance for Coleoptera and Orthoptera may be a response to the restoration of organic matter on the ground layer, attracting a larger number of individuals of these two orders. Although fire affected the abundance of the orders cited above, both on the ground (for Araneae and Diptera) and in the vegetation (for Orthoptera and Thysanoptera) some groups seem not be responding to fire effects. Thus, changes caused by fire can affect the reestablishment of the arthropods, but answers can be idiosyncratic depending on the taxon, perhaps due to different habitat use by these organisms, and also specific characteristics of the disturbance (Joern and Laws 2012).

Does the resilience after fire differ for arthropods on the ground and in the vegetation?

Resilience can be defined as the time required for a system to return to an equilibrium or steady-state following a disturbance (Pimm, 1984). We can measure resilience by calculating how far the system has been modified after disturbance and how quickly it returned to this pre-disturbance state (Ludwig et al. 1997). Our results indicate how the resilience of arthropod community responses the changes caused by fire to the environment, although differed between the two strata. For vegetation arthropods, there were differences in the first month after fire, with increasing richness, abundance of Hemiptera, Diptera, Coleoptera and Hymenoptera in burnt plots and different order composition between treatment and control. However, after six months these changes were not found anymore. As for arthropods on the ground, the resilience was less rapid. Six months and one year after fire we can find differences between treatments with reduction in

richness and abundance of the order Opiliones, Coleoptera and Hemiptera after the first month, followed by increased total abundance and abundance of Orthoptera and Coleoptera at six months and increased abundance of Hymenoptera one year after the fire. Post-burn vegetation (regrowth, resprouting) can be attractive to recolonize insects (Swengel 2001) resulting in a rapid resilience of arthropod vegetation. Since litter production depends primarily on the productivity of the plant community at a site (Facelli and Pickett 1991) the regrowing and resprouting vegetation will take some time to produce a new litter layer by deposition of dead organic matter, thus resulting in a slower reestablishment of arthropods on the ground.

Final considerations and conclusions

The majority of studies with arthropods, even when they use more than one method of collecting for each ground and vegetation, usually analyze all organisms together as a single group, without considering where they were collected and if the processes are distinct in each stratum, which can result in a misrepresentation of the responses to disturbance. Our study shows that, especially when working with very broad taxonomic levels such as orders, the division between sampling ground and vegetation arthropods is very important to have a more detailed understanding of the effects of disturbances in ecosystems. Studies using finer taxonomic levels, or functional analyses, may of course show patterns we are unable to detect here. For example, in this case, Araneae showed no significant change in abundance due to fire effects. However, in on a detailed study considering spider functional traits Araneae families, this same experiment by Podgaiski et al. (2013), it was possible to observe many fire effects (e.g. selection or harming of specific spider feeding strategies at different times after fire).

We conclude that the arthropod assemblage responded to environmental changes caused by fire, with distinct responses among arthropod orders and between organisms in vegetation and

ground levels. These are likely reflections of different processes leading to reestablishment of the habitat in these strata. First, vegetation is stimulated by fire, and this offering of plant resources attracts higher numbers of individuals of certain arthropod orders, an effect that stabilizes six months after fire. On the ground, the resilience of arthropods is slowed, probably due to a delay in the comeback of the litter ground layer which is subsequent to the regeneration of the vegetation, through deposition of dead organic matter. This is the first study in the grasslands from Southern Brazil to consider the effects of fire on the whole arthropod community, and thus might be seen as a beginning in our effort to understand the effects of fire in the ecosystem.

References

- Behling, H., Pillar, V. D., Müller, S. C., & Overbeck, G. E. (2007). Late-Holocene fire history in a forest-grassland mosaic in southern Brasil: Implications for conservation. *Applied Vegetation Science*, 10(1), 81-90.
- Bond W. J., Woodward F. I. and Midgley G. F. (2005) The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*. 165: 525–538.
- Bond, W. J., and J. E. Keeley. (2005) Fire as a global “herbivore”: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 387–394.
- Borges, P. A. V. and Brown, V. K. (2001) Phytophagous insects and web-building spiders in relation to pasture vegetation complexity. *Ecography* 24: 68–82.
- Callahan, M.A., Jr., J.M. Blair, T.C. Todd, D.J. Kitchen, and M.R. Whiles. (2003) Macro invertebrates in North American tallgrass prairie soils: effects of fire, mowing, and fertilization on density and biomass. *Soil Biology e Biochemistry* 35: 1079-1093.
- Cook W. M. e Holt R. D. (2006) Fire frequency and mosaic burning effects on a tallgrass prairie ground beetle assemblage. *Biodiversity and Conservation* 15: 2301–2323.
- Croxton, P. J., Carvell, C., Mountford, J. O., e Sparks, T. H. (2002). A comparison of green lanes and field margins as bumblebee habitat in an arable landscape. *Biological Conservation*, 107(3), 365-374.
- Denslow, J.S., 1985. Disturbance-mediated coexistence of species. In: S.T.A. Pickett and P.S. White (Editors), *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press,

- Orlando, FL, pp. 307-323Díaz, S. (2005) Biodiversity regulation of ecosystem services. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends, Volume 1* (eds R. Hassan, R. Scholes e N. Ash), pp. 297–329. Island Press, Washington, DC
- Facelli, J. M., e Pickett, S. T. (1991). Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review*, 57(1), 1-32.
- Fensham, R. J. (1994). Phytophagous insect-woody sprout interactions in tropical eucalypt forest. II. Insect community structure. *Australian journal of ecology*, 19(2), 189-196.
- Fidelis, A. (2008). Fire in subtropical grasslands in Southern Brazil: effects on plant strategies and vegetation dynamics (p. 151). Chair of Vegetation Ecology, Technische Universität München, Freising.
- Fidelis, A., Appezzato-da-Glória, B., e Pfadenhauer, J. (2009). A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. *Campos Sulinos*, 88.
- Fidelis, A. T., Delgado Cartay, M. D., Blanco, C. C., Muller, S. C., Pillar, V. D. P., e Pfadenhauer, J. S. (2010). Fire intensity and severity in Brazilian Campos grasslands. *Interciencia: revista de ciencia y tecnologia de america*. Caracas. Vol. 35, n. 10 (Oct. 2010), p. 739-745.
- Fidelis, A., Overbeck, G., Pillar, V. D., e Pfadenhauer, J. (2008). Effects of disturbance on population biology of the rosette species *Eryngium horridum* Malme in grasslands in southern Brazil. *PlantEcology*, 195(1), 55-67.
- Fidelis, A., e Pivello, V. R. (2011). Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. *Biodiversidade Brasileira*, (2), 12-25.
- Gimingham CH. 1972. *Ecology of heathlands*. London, UK: Chapman e Hall

- Gill, A. M., Woinarski, J. C. Z. e York, A. (1999) Australia's biodiversity: response to fire. Biodiversity Technical Paper No. 1. Environment Australia, Canberra. 266 pp
- Grimaldi, D., and Engel, M. S. (2005). Evolution of the Insects. Cambridge University Press.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., e Ryan, P. D. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. *Paleontología Electrónica* 4: 1-9. URL:< http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.html.
- Hanes, T. L. (1971). Succession after fire in the chaparral of southern California. *Ecological monographs*, 27-52.
- Hulbert, L. C. (1969). Fire and litter effects in undisturbed bluestem prairie in Kansas. *Ecology*, 874-877.
- Heithaus, E. R. (1974). The role of plant-pollinator interactions in determining community structure. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 675-691.
- Hodkinson, I. D., eCasson, D. (1991). A lesser predilection for bugs: Hemiptera (Insecta) diversity in tropical rain forests. *Biological Journal of the Linnean Society*, 43(2), 101-109.
- Holling, C. S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*, 1-23.
- Joern, A., e Laws, A. N. (2013). Ecological mechanisms underlying arthropod species diversity in grasslands. *Annual review of entomology*, 58, 19-36.
- Keeley, J. E., eFotheringham, C. J. (2000). Role of fire in regeneration from seed. *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*, 2, 311-330.

- King, J. R., Andersen, A. N., e Cutter, A. D. (1998). Ants as bioindicators of habitat disturbance: validation of the functional group model for Australia's humid tropics. *Biodiversity and Conservation*, 7(12), 1627-1638.
- Lamont, B. B., eDownes, K. S. (2011). Fire-stimulated flowering among resprouters and geophytes in Australia and South Africa. *Plant Ecology*, 212(12), 2111-2125.
- Laurance, W. F. (2003). Slow burn: the insidious effects of surface fires on tropical forests. *Trends in Ecology e Evolution*, 18(5), 209-212.
- Lavelle, P. (1997). Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in ecological research*, 27(27).
- Ludwig, D., Walker, B., eHolling, C. S. (1997). Sustainability, stability, and resilience. *Conservation Ecology* [online]1(1): 7. Available from the Internet. URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss1/art7/>
- Meyer, G. A., e Root, R. B. (1993). Effects of herbivorous insects and soil fertility on reproduction of goldenrod. *Ecology*, 1117-1128.
- Moir, M. L., e Brennan, K. E. C. (2007). Using bugs (Hemiptera) as ecological and environmental indicators in forest ecosystems. *Forest ecology research horizons*. Nova, New York, 203-238.
- Moir, M. L., Brennan, K. E., Majer, J. D., Fletcher, M. J., e Koch, J. M. (2005). Toward an optimal sampling protocol for Hemiptera on understorey plants. *Journal of Insect Conservation*, 9(1), 3-20.
- Morris, M. G. (2000). The effects of structure and its dynamics on the ecology and conservation of arthropods in British grasslands. *Biological conservation*, 95(2), 129-142.

- Munhoz, C. B. R., eFelfili, J. M. (2007). Florística do estrato herbáceo-subarbustivo de um campo limpo úmido em Brasília, Brasil. *Biota Neotropica*, 7(3), 205-215.
- Nearby D. G., Klopatek C. C., DeBano L. F.,Ffolliott P. F. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management* 122 (1999)
- Overbeck, G. E., Müller, S. C., Pillar, V. D., e Pfenhauer, J. (2005). Fine-scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grassland. *Journal of Vegetation Science*, 16(6), 655-664.
- Overbeck, G.; Müller, S.; Fidelis, A.; Pfenhauer, J.; Pillar, V.; Blanco, C.; Boldrini, I.; Both, R. e Forneck, E. (2007). Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. *Perspectives. Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9: 101-116.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., e McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology e Earth System Sciences Discussions*, 4(2).
- Penfound, W. T. (1964). Effects of denudation on the productivity of grassland. *Ecology*, 45(4), 838-845.
- Pickett, S. T. A., Kolasa, J., Armesto, J. J., e Collins, S. L. (1989). The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, 129-136.
- Pillar, V. D. (1997).Multivariate exploratory analysis and randomization testing with MULTIV. *Coenoses*, 12, 145-148.
- Pimm, S. L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307(5949), 321-326.
- Podgaiski, L. R., Joner, F., Lavorel, S., Moretti, M., Ibanez, S., Mendonça Jr, M. D. S., e Pillar, V. D. (2013). Spider Trait Assembly Patterns and Resilience under Fire-Induced Vegetation Change in South Brazilian Grasslands. *PloS one*, 8(3), e60207.

- Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., eWillmer, P. (2003). Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities? *Ecology*, 84(10), 2628-2642.
- Quadros, F. L. F. D., e Pillar, V. D. P. (2001). Dinâmica vegetacional em pastagem natural submetida a tratamentos de queima e pastejo. *Ciência rural*. Santa Maria. Vol. 31, n. 5 (set./out. 2001), p. 863-868.
- Schaffers, A. P., Raemakers, I. P., Sýkora, K. V., e Ter Braak, C. J. (2008). Arthropod assemblages are best predicted by plant species composition. *Ecology*, 89(3), 782-794.
- Schowalter, T.D. 2006. *Insect Ecology: an ecosystem approach*. Academic Press: California.
- Smith, V. C., e Bradford, M. A. (2003). Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology*, 24(2), 197-203.
- Southwood, T. R. E., Brown, V. K., e Reader, P. M. (1986). Leaf palatability, life expectancy and herbivore damage. *Oecologia*, 70(4), 544-548.
- Swengel, A. B. (2001). A literature review of insect responses to fire, compared to other conservation managements of open habitat. *Biodiversity e Conservation*, 10(7), 1141-1169.
- Tilman, D., e Downing, J. A. (1996). Biodiversity and stability in grasslands. In *Ecosystem Management* (pp. 3-7). Springer New York.
- Van Amburg, G. L., Swaby, J. A., ePemble, R. H. (1981). Response of arthropods to a spring burn of a tallgrass prairie in northwestern Minnesota. *Ohio Biological Survey Biological Notes*, 15, 240-243.
- Wali, M. K. (1999). Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems. *Plant and soil*, 213(1-2), 195-220.

Warren, S. D., Scifres, C. J., e Teel, P. D. (1987). Response of grassland arthropods to burning: a review. *Agriculture, ecosystems e environment*,19(2), 105-130.

Whelan, R.J., L. Rodgerson, C.R. Dickman, and E.F. Sutherland. (2002) Critical life processes of plants and animals: developing a process-based understanding of population changes in fire-prone landscapes. Pages 94-124 in: *Flammable Australia: the fire regimes and biodiversity of a continent*. Cambridge University Press, United Kingdom.

Zimmer, K., and Parmenter, R. R. (1998). Harvester ants and fire in a desert grassland: ecological responses of *Pogonomyrmex rugosus* (Hymenoptera: Formicidae) to experimental wildfires in central New Mexico. *Environmental Entomology*, 27(2), 282-287.



Capítulo II

Resiliência taxonômica e funcional de Hemiptera sobre os efeitos do fogo nos Campos do Sul do Brasil

Camila da Silva Goldas¹, Luciana Regina Podgaiski^{1,2},
e Milton de Souza Mendonça Jr.¹

¹Laboratório de Ecologia de Interações, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, 91540-000, RS, Brasil.

²Laboratório de Ecologia Quantitativa, Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Avenida Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, 91540-000, RS, Brasil.

**Artigo a ser submetido à revista
Journal of Insect Conservation**

Resumo

O fogo possui importante relação com os ecossistemas campestres, afetando propriedades ecossistêmicas e a diversidade da vegetação. Hemiptera é uma ordem predominantemente herbívora e possui respostas rápidas aos distúrbios, sendo ferramenta na compreensão dos efeitos dos distúrbios. Buscamos nesta pesquisa investigar os efeitos do fogo sobre a comunidade de Hemiptera em ecossistemas campestres. Em uma área de campos foram instalados sete pares de unidades experimentais, sendo uma de cada par queimada em dezembro/2009. Amostramos antes do fogo, um mês, seis meses e um ano após o fogo. Coletamos indivíduos através de pitfalls e rede de varredura. Classificamos os adultos em famílias e as ninfas em subordens, e parara cada indivíduo medimos atributos funcionais. Um mês após o fogo ocorreu aumento da abundância de adultos e jovens, maior aparelho sugador para Heteroptera, e aumento da abundância de adultos, riqueza e diversidade para Auchenorrhyncha nas áreas queimadas. No sexto mês após o fogo ocorreu maior diversidade e aparelho sugador e menor cabeça e fêmur para Auchenorrhyncha nas áreas queimadas. Um ano após o fogo houve maior corpo para Auchenorrhyncha nas áreas queimadas. Os efeitos de estímulo causados pelo fogo à vegetação afetaram a comunidade de Hemiptera (níveis funcional e taxonômico). Aparelho sugador o principal atributo selecionado nas áreas queimadas. O período de desenvolvimento em que os organismos (adulto ou imaturo), foram selecionados pelas alterações do fogo, tendo em vista que a qualidade do alimento é fator determinante a reprodução e crescimento de Hemiptera.

Palavras chave: atributos funcionais, queimadas, distúrbio, Auchenorrhyncha, Heteroptera;

Introdução

Os ecossistemas provêm importantes serviços à humanidade (Tallis e Kareiva 2005; Stokstad 2005), por isso compreender os efeitos da ação do homem no meio ambiente para que esta ação seja aliada à preservação destas funções ecossistêmicas é um passo primordial para a manutenção da biodiversidade em nosso planeta (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Queimadas, de origem natural ou antrópica, são distúrbios recorrentes em muitosecossistemas campestres, alterando a estrutura e a diversidade dos organismos no ambiente (Pickett et al. 1989; Hobbs e Huenneke 1992) e portanto sua funcionalidade (Tilman 1996). Por outro lado, o distúrbio fogo é considerado como importante fator de manutenção das comunidades vegetais campestres, modelando a distribuição destes em escala global (Bond e Keeley 2005). Fogo altera a estrutura do hábitat, reduzindo biomassa (Bond et al. 2005; Higgins et al. 2007) afetando a diversidade vegetal e animal (Fidelis et al. 2010; Engstrom 2010; Joern e Laws 2012). Organismos que retratem as condições do ambiente através de suas características e repostas são conhecidos como bioindicadores (Stork et al. 1996) sendo comumente utilizados na compreensão do tempo de retorno do ecossistema ao estado anterior às modificações causadas pelos distúrbios, sendo este também denominado como resiliência (Pimm 1984).

Estas modificações causadas pelo fogo aos ecossistemas podem gerar filtros ambientais, que selecionam atributos destes organismos ali presentes, bem como influenciam suas funções (Díaz et al. 2007a). Os distúrbios estão inclusos dentre os filtros ambientais mais conhecidos, juntamente com o clima (Keddy 1992; Díaz 1998). Compreender estes efeitos é primordial, dado que os protagonistas da habilidade de um ecossistema ofertar estes serviços são os organismos que ali habitam (Larsen et al. 2005; Kremem 2007). Por isso a utilização da abordagem baseada em atributos funcionais dos organismos é importante para completar a tradicional abordagem taxonômica de descrição da biodiversidade, como riqueza, composição e diversidade de espécies

(Díaz et al. 2007b; Podgaiski et al. 2011) avaliando assim a estrutura funcional dos ecossistemas em relação ao fogo. Atributos funcionais consistem em características dos organismos que estão ligadas as suas funções ou desempenho no ecossistema, sendo exemplo de atributos detalhes da morfologia, fisiologia, comportamento e outros (De Bello et al. 2010).

Os artrópodes possuem um importante papel nos ecossistemas campestres, como predadores, interagindo e se alimentando da vegetação como herbívoros ou no solo auxiliando na detritivoria e ciclagem de nutrientes. (Whiles e Charlton 2006) e dentre estes, a ordem Hemiptera possui uma das maiores abundância e riqueza de espécies destes ecossistemas (Tschardt e Greiler, 1995, este estudo, Capítulo I). São bons indicadores de distúrbios, pois apresentam respostas imediatas a mudanças na diversidade vegetal (Mortimer et al. 1998), estando estes organismos diretamente relacionados à qualidade e estrutura da vegetação (Denno e Roderick 1991, Hartley e Gardner 1995; Korösi, et al. 2012) e composição das espécies hospedeiras (Sanderson et al. 1995). Hemiptera é uma ordem predominantemente herbívora (Panizzi e Silva, 2009) e possui importante papel tanto como herbívoros ou como presas a níveis tróficos superiores (Waloff 1980).

Os hemípteros têm sido historicamente utilizados como ferramenta para compreensão dos efeitos de distúrbios em ecossistemas campestres ao redor do mundo. Existem estudos mais antigos sobre os efeitos do pastejo (Morris 1973), roçada (Morris e Lakhani 1979; Morris 1979; Morris 1981a; Morris 1981b; Morris 1983) e também fogo (Morris 1975) sobre a comunidade de Hemiptera. Existem também estudos mais recentes onde Auchenorrhyncha (cigarras) e Heteroptera (percevejos) são utilizados na compreensão de distúrbios nos campos (Korosi et al. 2012; Connacher 2013), mas grande parte desta literatura leva em consideração somente organismos da subordem Auchenorrhyncha como indicadores da qualidade da vegetação campestre (ex: Hollier et al. 2005; Maczey et al. 2005; Hamilton e Whitcomb 2010). Para os campos dos Estados Unidos da América (Tallgrass Prairie) foi desenvolvido um índice de Auchenorrhyncha para a qualidade da

vegetação/das pradarias baseado em características de história de vida e morfologia (asas macróptera e braquíptera) (Wallner 2011; Wallner et al. 2013).

Portanto, neste estudo nós avaliamos os efeitos do fogo sobre a comunidade de Hemiptera em um experimento de queima em pequena escala em área de campos naturais no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Utilizamos tanto abordagem de descrição da diversidade taxonômica quanto funcional, contabilizando e identificando os indivíduos em famílias, e para a análise funcional selecionamos alguns atributos relacionados ao desempenho dos organismos no ambiente. Com isso buscamos compreender: (1) Como a abundância, riqueza, composição e diversidade taxonômica e funcional de Hemiptera são afetadas pelo distúrbio por fogo nos Campos Sulinos? (2) Há atributos funcionais selecionados positiva ou negativamente após o distúrbio fogo? (3) Quão resiliente é a diversidade de Hemiptera (taxonômica e funcional) ao distúrbio causado pelo fogo?

Material e Métodos

Área de estudo

Nosso estudo foi realizado em área de campo natural na Estação Agronômica da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS, Brasil (30 ° 06'58 "S, 51 ° 41'05" W) de novembro de 2009 a dezembro de 2010. Estando localizada em uma zona de transição entre os climas temperado e subtropical, esta região possui como característica período de inverno frio, com temperatura média de 9°C em junho e julho e período de verão quente, com temperatura média de 25°C em janeiro e fevereiro (Moreno 1961; Peel et al. 2007) e a média anual de precipitação é aproximadamente de 1400 mm.

Remanescente do Holoceno, os Campos Sulinos têm uma história importante de interação com o distúrbio fogo sendo um dos principais agentes na manutenção da composição florística da vegetação dos Campos juntamente com o pastejo (Pillar e Quadros, 1997). Estudos

paleoecológicos revelaram que o fogo está presente desde o início do Holoceno, mantendo esta fisionomia apesar do aumento da umidade ocorrido no Quaternário, início um processo de favorecimento a expansão da floresta sob os Campos (Behling et al. 2004; Behling e Pillar 2007). O fogo pode ser de origem antrópica ou natural, sendo causado inicialmente por indígenas, seguido por colonos europeus (Behling et al. 2007), e ainda hoje é usado pelos agricultores para aumentar a qualidade da forragem para pastejo (Fidelis et al. 2010). Embora exista essa antiga relação entre fogo e os campos ainda há conhecimento insipiente sobre seu efeito na biodiversidade desse ecossistema (Overbeck et al. 2007).

Desenho experimental

Instalamos sete pares de unidades experimentais (14 parcelas de 10 x 10m) sendo uma parcela de cada par queimada em dezembro/2009. A queima das parcelas foi autorizada pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA). Amostramos os organismos em quatro períodos: antes da queima, um mês, seis meses e um ano após a queima. Utilizamos *pitfall trap* (potes de 200 ml, enterrados no solo com álcool 70%, cinco por parcela, abertos por quatro dias em campo), e na vegetação, utilizamos rede de varredura, coletando em quatro transectos padronizados dentro de cada parcela no período da manhã e a tarde.

Triagem e medição de atributos

Em laboratório os hemípteros foram primeiramente separados das demais ordens. Indivíduos da subordem Sternorrhyncha (pulgões e cochonilhas) não foram incluídos em nosso estudo, devido dificuldade de identificação e da medição de alguns dos atributos escolhidos, sendo somente os indivíduos das subordens Auchenorrhyncha (cigarras) e Heteroptera (percevejos) que foram utilizados. Identificamos todos os adultos em nível de família, já os jovens foram identificamos somente até subordem, pois devido a grande variação morfológica entre instares, as

ninfas são de difícil identificação (Stehr 1987). Com auxílio de estereomicroscópio e uma ocular milimetrada, medimos atributos de todos os indivíduos coletados. Nós selecionamos atributos funcionais morfológicos relacionando possíveis papéis funcionais destes para os organismos (Tab. 1). Ao total foram sete atributos, sendo o comprimento do corpo, do fêmur e do aparelho sugador e a largura da cabeça, sendo relativas ao tamanho do corpo as medidas da cabeça e fêmur, e relativa à largura da cabeça a medida do aparelho sugador (ver descrição das medidas na Fig. 1) e como atributos binários utilizamos presença de asa longa (macróptera), presença de asa curta (braquíptera, somente indivíduos de Auchenorrhyncha foram coletados com esta característica) e ausência de asa.

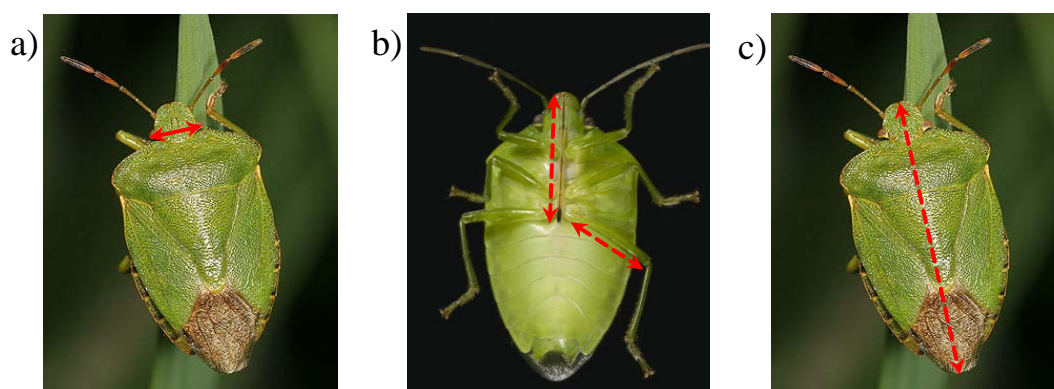


Figura 1. Variáveis morfométricas mensuradas, a descrição da natureza quantitativa dos atributos funcionais dos Hemiptera utilizados no estudo. Largura da cabeça (a), comprimento do aparelho sugador e fêmur (b) e comprimento do corpo (c).

Análises estatísticas

Todas as análises (abundância e diversidade taxonômica e funcional) foram feitas separadamente para indivíduos das subordens Heteroptera e Auchenorrhyncha. Nas análises tradicionais de diversidade, comparamos as médias da abundância de indivíduos (jovens e adultos), riqueza e diversidade de Simpson (em nível de famílias) para cada data amostral utilizando Análise de Variância (ANOVA), por teste de permutação (1000 interações) no software MULTIV (Pillar, 2001). Com ambos dados (funcionais e taxonômicos) realizamos ANOVA de três fatores levando

em consideração o bloco, tratamento (fogo) e tempo como fatores e também a interação entre tempo e tratamento. Estas análises foram realizadas por MULTIV (Pillar 1997). Para explorar diferenças na composição de famílias de adultos de Hemiptera entre tratamento e controle realizamos Análises de Coordenadas Principais (PCoA) para cada período amostral. Para o PCoA usamos o software PAST (Hammer et al. 2001). A diferença entre a composição entre tratamento e controle foi testada com ANOVA em blocos, com teste de permutação (1000 permutações), realizadas no MULTIV (Pillar 1997).

Para as análises funcionais de Hemiptera, consideramos os organismos em nível de indivíduo, e para cada atributo utilizamos os atributos médios das comunidades (Community Weighted Means, CWM) onde o valor médio de um determinado atributo funcional ponderado pela comunidade (todos os indivíduos de cada parcela/tempo). Como índice de diversidade funcional (DF), utilizamos a Entropia de Rao (Botta-Duka't 2005, Ricotta e Moretti 2011). Para a obtenção destes índices, os dados foram organizados em duas matrizes, uma contendo o número de indivíduos e seus respectivos atributos funcionais e a presença e ausência dos indivíduos em relação às comunidades, que no caso são as parcelas onde coletamos os organismos (14 parcelas). As multiplicações destas matrizes dão origem a uma matriz T contendo os atributos médios da comunidade (CWM) para cada atributo em cada data amostral, ou seja, a média de quanto cada atributo varia dentro das parcelas, e índices de diversidade funcional (DF, entropia quadrática de Rao) para cada parcela em cada data amostral. Este valor indica a dissimilaridade dos indivíduos para cada parcela, levando em consideração seus atributos funcionais. Este procedimento foi feito para cada data amostral com cada subordem separadamente. Obtivemos ambos CWM e índices de DF utilizando o software SYNCOSA (Pillar, 2004). Testamos se haviam diferenças significativas entre os tratamentos (queimado e controle) quanto as CWM de cada atributo e entre os índices DF em cada um dos tempos amostrais com Análises de Variância (ANOVA) por testes de permutação (1000 permutações) no software MULTIV (Pillar, 2001). Para todas as análises funcionais

realizamos com todos os indivíduos juntos (adultos e jovens), e complementarmente realizamos as mesmas separadamente para jovens e adultos para cada Subordem, resultados contidos no Anexo 1.

Tabela 1. Atributos funcionais mensurados nos indivíduos de Hemiptera e sua importância funcional no ambiente.

Atributo	Funcionalidade
Tamanho do corpo	<ul style="list-style-type: none"> - característica fundamental; varia continuamente por efeito da seleção natural; relacionada à aquisição de recursos e taxas de mortalidade (Chown e Gaston 2010). - influencia uma gama de serviços do ecossistema, amplamente utilizado em estudos com invertebrados e abordagem funcional (DeBello, 2010). - reflete como organismos utilizam e percebem o ambiente (Kaspari e Weiser 2007). - relacionado a atividades comuns como locomoção, dispersão e uso do espaço (Peters e Wassenberg 1983; Jetz et al. 2004)
Asas (macroptera e braquiptera) e fêmur	<ul style="list-style-type: none"> - estruturas de dispersão e locomoção; - Heteroptera: asas são as estruturas principais de dispersão dos adultos sendo que para as ninfas utilizam somente as pernas, podendo cobrir distâncias relativamente pequenas (Panizzi e Silva 2009). - Auchenorrhyncha: asas são importantes estruturas na locomoção de adultos (Waloff 1973), mas grande parte dos adultos e das ninfas, também usam suas pernas posteriores para saltar (Tipping 2004). - diferença estrutural das asas vem sendo utilizada como atributo funcional para Auchenorrhyncha em estudos de qualidade dos campos (presença de indivíduos com asa braquiptera - ambiente mais conservado) dado que estes possuem menor potencial de dispersão (Wallner et al. 2013)
Aparelho sugador	<ul style="list-style-type: none"> - principal característica da ordem Hemiptera, sendo esta uma estrutura atribuída a sua grande eficiência como herbívoros (Grimaldi 2005). - alguns Heteroptera possuem em seus estiletes estruturas que lembram dentes, que servem para rasgar o tecido vegetal (Santos 2003). - Heteroptera predadores, além de sugar fluidos de suas presas, podem obter água e outros nutrientes se alimentando da vegetação (Cohen 1996).
Cabeça	<ul style="list-style-type: none"> - abriga estruturas sensoriais de percepção e comando sensorial; esta intimamente ligada à ingestão dos alimentos, pois abriga a musculatura responsável pela sucção dos fluidos através do aparelho sugador (Hamilton 1981; Chapman 1998).

Resultados

Foram coletados 4503 indivíduos de Hemiptera no total (51% imaturos, Tab. 2, 49% adultos) sendo os adultos pertencentes a 26 famílias, sendo dentre estas a mais abundante Cicadellidae com 60% (Tab. 3).

Tabela 2. Abundância de imaturos classificados em Subordens da ordem Hemiptera para cada período amostral, sendo o total para cada subordem (total s), total para cada tratamento (total t) e abundância entre parcelas queimadas (cf, com fogo) e controle (sf, sem fogo) com exceção às parcelas da coleta anterior ao fogo, onde (af1, antes do fogo 1) foram posteriormente queimadas e (af2, antes do fogo 2) permaneceram sem queima como controle

Subordem	Abundância de jovens								Total
	Antes		1mês		6 meses		12 meses		
	af1	af2	cf	sf	cf	sf	cf	sf	
Auchenorrhyncha	258	427	176	129	238	179	93	131	1631
Heteroptera	19	33	439	56	10	9	78	53	697
Total	277	460	615	185	248	188	171	184	2328

Como a abundância, riqueza, composição e diversidade taxonômica e funcional de Hemiptera são afetadas pelo distúrbio por fogo nos Campos Sulinos?

Para Heteroptera, a abundância de jovens e adultos apresentou diferença significativa um mês após o fogo, sendo maior nas áreas queimadas (Fig. 2a e 2b). Foi encontrada interação entre tempo e tratamento para todas as variáveis taxonômicas de Heteroptera, sendo significativas para abundância de adultos ($p < 0.001$), abundância de jovens ($p < 0.001$) e diversidade ($p = 0.02$) e riqueza ($p = 0.002$) de famílias de adultos. Para Auchenorrhyncha a abundância de adultos e riqueza de famílias e diversidade de Simpson foram maiores no primeiro mês em áreas queimadas, e no sexto mês continuou maior a diversidade nas mesmas áreas (Fig. 3a, 3c e 3d). Encontramos para Auchenorrhyncha interação entre tempo e tratamento para abundância de adultos ($p = 0.04$) e abundância de ninfas ($p = 0.02$). A composição de famílias de adultos de Hemiptera (Fig.4) apresentou diferença significativa entre áreas queimadas e controle durante o primeiro mês e seis

meses após o fogo. A diversidade funcional (Entropia de Rao) não apresentou diferença significativa nas análises para cada período (Fig. 5 e 6), mas encontramos interação entre tempo e tratamento para diversidade funcional de Auchenorrhyncha ($p=0.03$).

Tabela 3. Abundância de adultos classificados em famílias da ordem Hemiptera para cada período amostral, sendo o total para cada família (total f), total para cada tratamento (total t) e abundância entre parcelas queimadas (cf, com fogo) e controle (sf, sem fogo) com exceção às parcelas da coleta anterior ao fogo, onde (af1, antes do fogo 1) foram posteriormente queimadas e (af2, antes do fogo 2) permaneceram sem queima como controle.

Subordem	Família	Abundância de adultos								Total f
		Antes		1 mês		6 meses		12 meses		
		af1	af2	cf	sf	cf	sf	cf	sf	
Auchenorrhyncha	Cicadellidae	199	292	202	166	53	78	162	157	1309
	Issidae	76	132	1	0	6	4	56	29	304
	Delphacidae	35	25	18	1	8	2	2	2	93
	Cercopidae	4	6	35	6	0	0	5	3	59
	Flatidae	0	0	4	5	3	1	22	24	59
	Membracidae	1	2	4	7	1	1	5	5	26
	Achillidae	0	0	0	0	0	0	1	9	10
	Derbidae	0	0	2	0	0	1	0	0	3
	Cixiidae	1	1	0	1	0	0	0	0	3
	Fulgoridae	0	0	0	1	0	0	2	0	3
	Kinnaridae	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	Cicadidae	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	Dictyopharidae	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Total t		316	459	268	187	71	87	256	229	1873
Heteroptera	Rhyparochromidae	6	8	35	8	1	2	4	1	65
	Miridae	1	1	28	6	0	0	16	5	57
	Geocoridae	1	1	30	8	0	0	5	1	46
	Pentatomidae	0	0	38	1	0	1	0	0	40
	Thyreocoridae	0	17	2	2	4	0	2	1	28
	Tingidae	3	2	2	2	1	0	6	4	20
	Berytidae	1	2	11	1	1	1	2	0	19
	Coreidae	0	0	0	0	1	0	6	6	13
	Enicocephalidae	0	0	0	2	0	0	3	5	10
	Lygaeidae	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	Nabidae	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Pachygronthidae	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	Reduviidae	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	Total t		13	31	146	32	8	4	45	23

Determinados atributos funcionais são selecionados após o distúrbio fogo?

Os atributos que apresentaram diferenças significativas entre tratamentos foram comprimento do aparelho sugador para *Auchenorrhyncha* e *Heteroptera*, e comprimento do corpo e do fêmur e largura da cabeça somente para *Auchenorrhyncha*. Já atributos relacionados à asa (asas ausentes, asa longa e curta) não diferiram entre tratamentos. O comprimento do aparelho sugador para *Heteroptera* foi maior nas áreas queimadas no primeiro mês após o fogo e para *Auchenorrhyncha*, este foi maior no sexto mês nas mesmas áreas (Fig. 5b, 6b). Já o comprimento do corpo foi significativamente maior um ano após o fogo para *Auchenorrhyncha* (Fig. 6c) período com abundância maior de adultos em relação a jovens nas parcelas queimadas (Tab. 2 e 3).

Comprimento do fêmur demonstrou diferença significativa no sexto mês após o fogo, sendo menor nas parcelas queimadas para *Auchenorrhyncha* (Fig. 6d), mas na anova de 3 fatores encontramos interação entre tratamento e tempo somente para o comprimento do fêmur de *Heteroptera* ($p= 0.001$). A largura da cabeça foi significativamente diferente ao sexto mês para *Auchenorrhyncha*, apresentando largura menor nas parcelas queimadas (Figura 6e). Explorando os indivíduos coletados nas áreas queimadas para *Auchenorrhyncha* no sexto mês, encontramos imaturos em maior número que adultos, sendo 77% de imaturos e 22% de adultos (Tab. 2 e 3). Quanto ao tamanho do aparelho sugador, explorando a média deste atributo nas áreas queimadas, a média dos imaturos foi maior (1.5 mm) do que dos adultos (1.4 mm). Estes fatores nos mostram que a seleção dos atributos deu-se possivelmente devido à presença de maior número de jovens com estas características. Realizando análises dos mesmos dados funcionais separando jovens de adultos (Apêndice 1), encontramos diferença significativa somente para tamanho de aparelho sugador para ninfas de *Heteroptera*, sendo maior nas áreas queimadas um mês após o fogo ($p=0.01$), confirmando que as ninfas parecem apresentar maior alteração de atributos funcionais.

Análises taxonômicas - Heteroptera

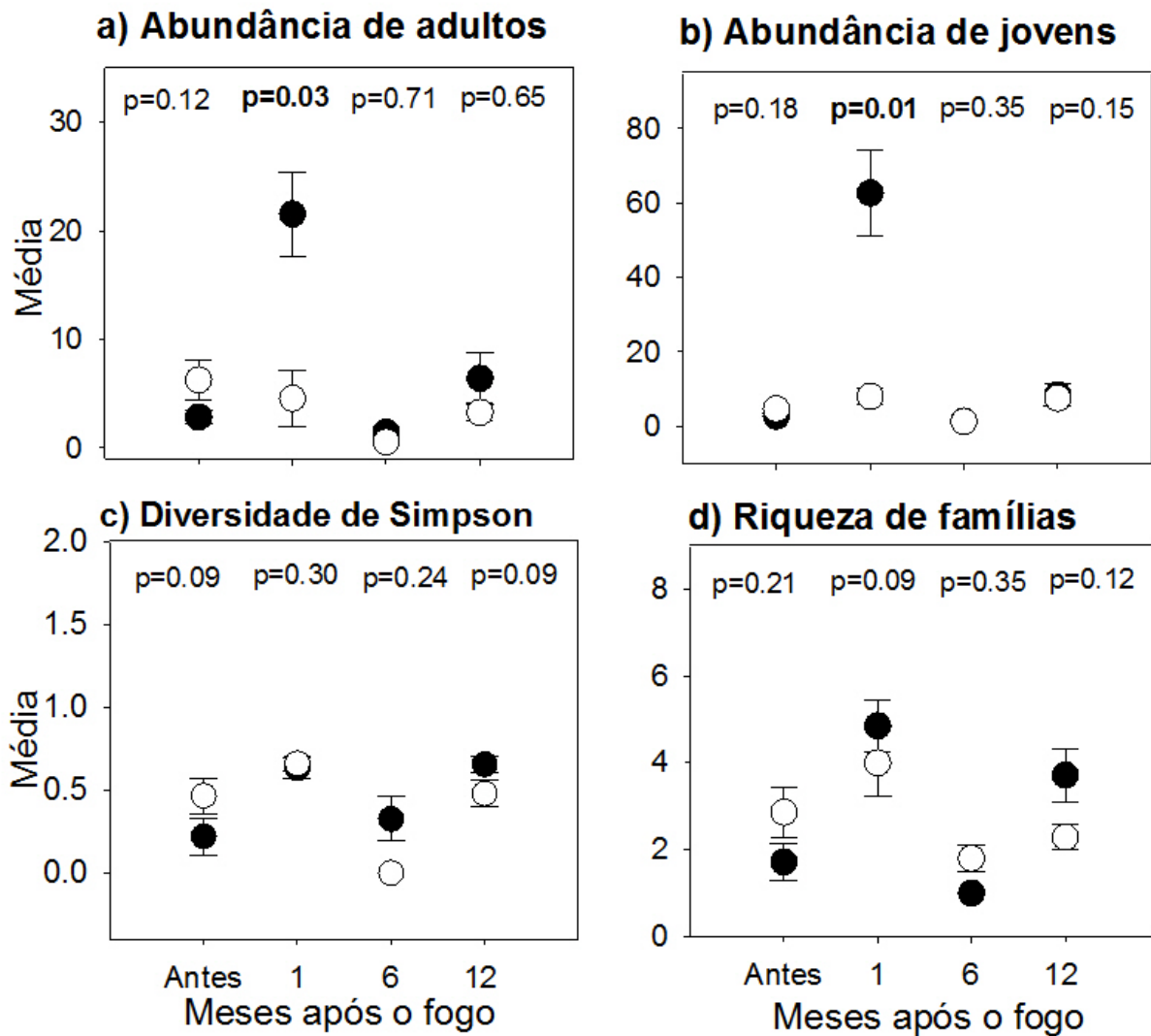


Figura 2. Análises taxonômicas da diversidade da subordem Heteroptera (Hemiptera) em experimento de fogo, para cada período amostral. Símbolos em preto representam parcelas queimadas e círculos abertos, parcelas controle. As variáveis são: abundância de adultos (a), de jovens(b), diversidade de famílias (índice de Simpson) (c); riqueza de famílias(d). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Análises taxonômicas - Auchenorrhyncha

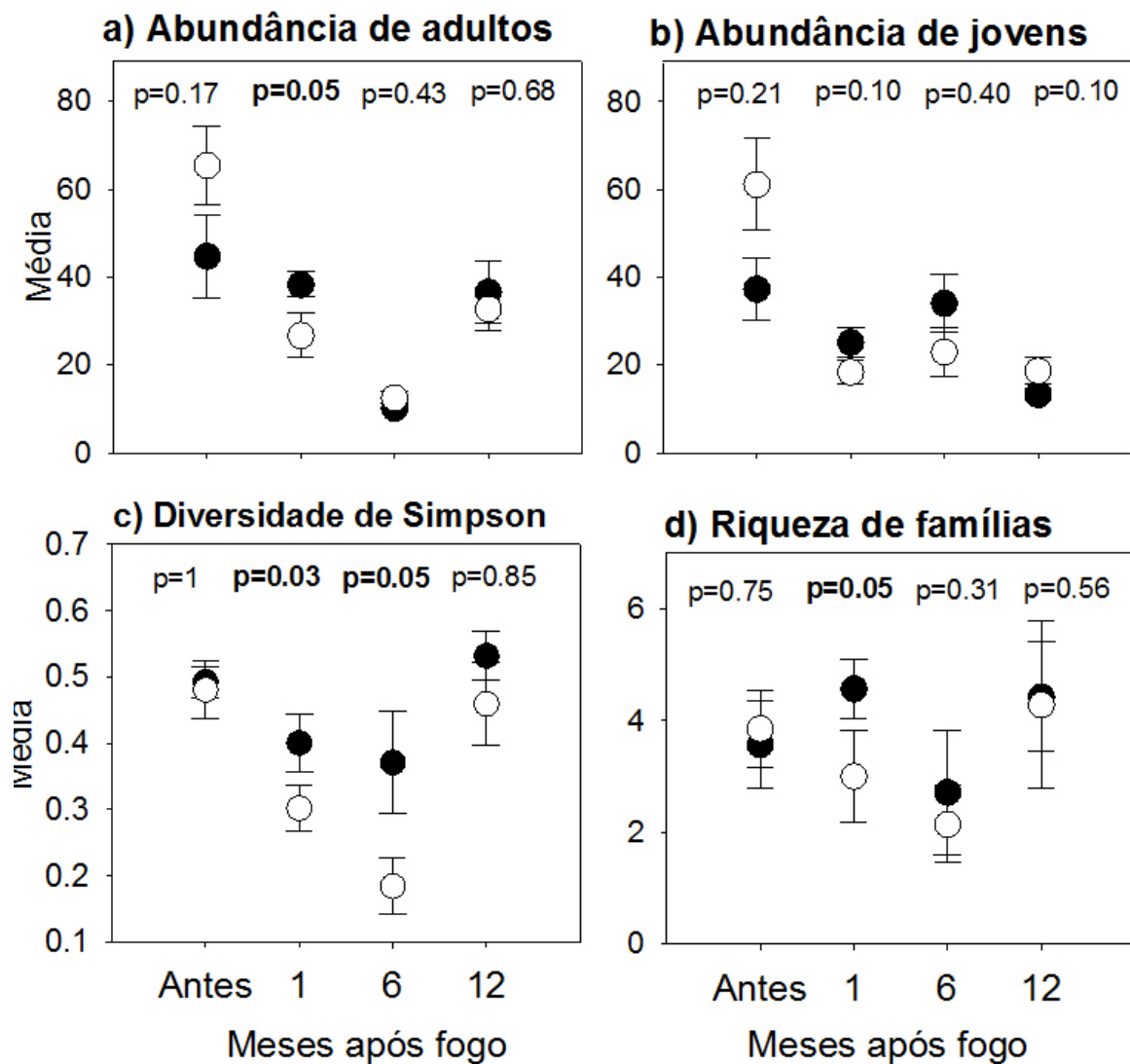


Figura 3. Análises taxonômicas da diversidade da subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) em experimento de fogo, para cada período amostral. Símbolos em preto representam parcelas queimadas e círculos abertos, parcelas controle. As variáveis são: abundância de adultos (a), de jovens (b), diversidade de famílias (índice de Simpson) (c); riqueza de famílias (d). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Diagramas de ordenação da composição de famílias da Ordem Hemiptera

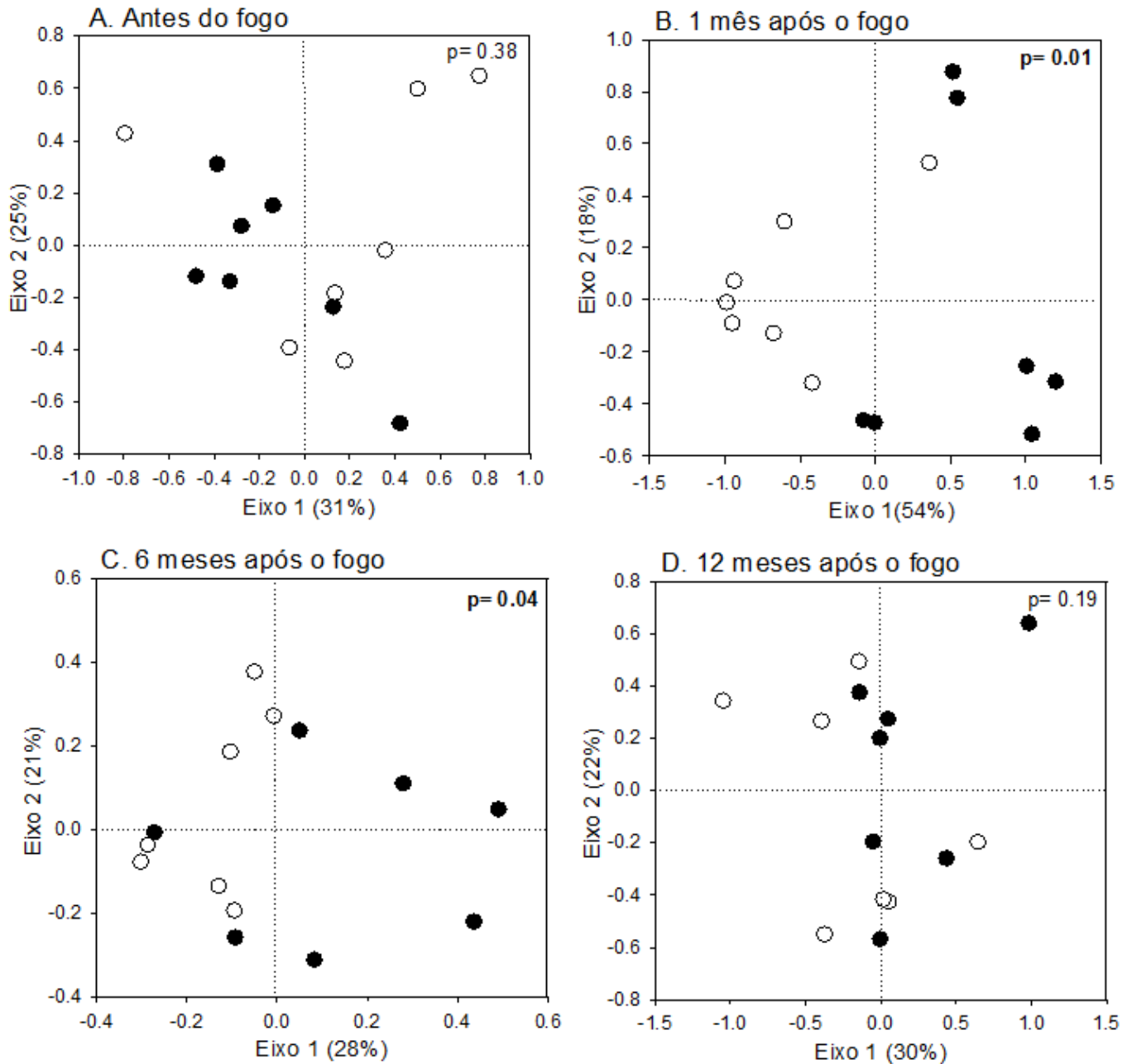


Figura 4. Diagrama de Ordenação da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) da composição de famílias de Hemiptera coletados no solo (pitfall) e na vegetação (sweep net) em plots queimados (círculos em negrito) e controle (símbolos abertos) para cada período amostral (a – d). Similaridade foi calculada com índice de Bray-Curtis. Valores de P baseadas em ANOVA em blocos com teste de permutação.

Análises Funcionais - Heteroptera

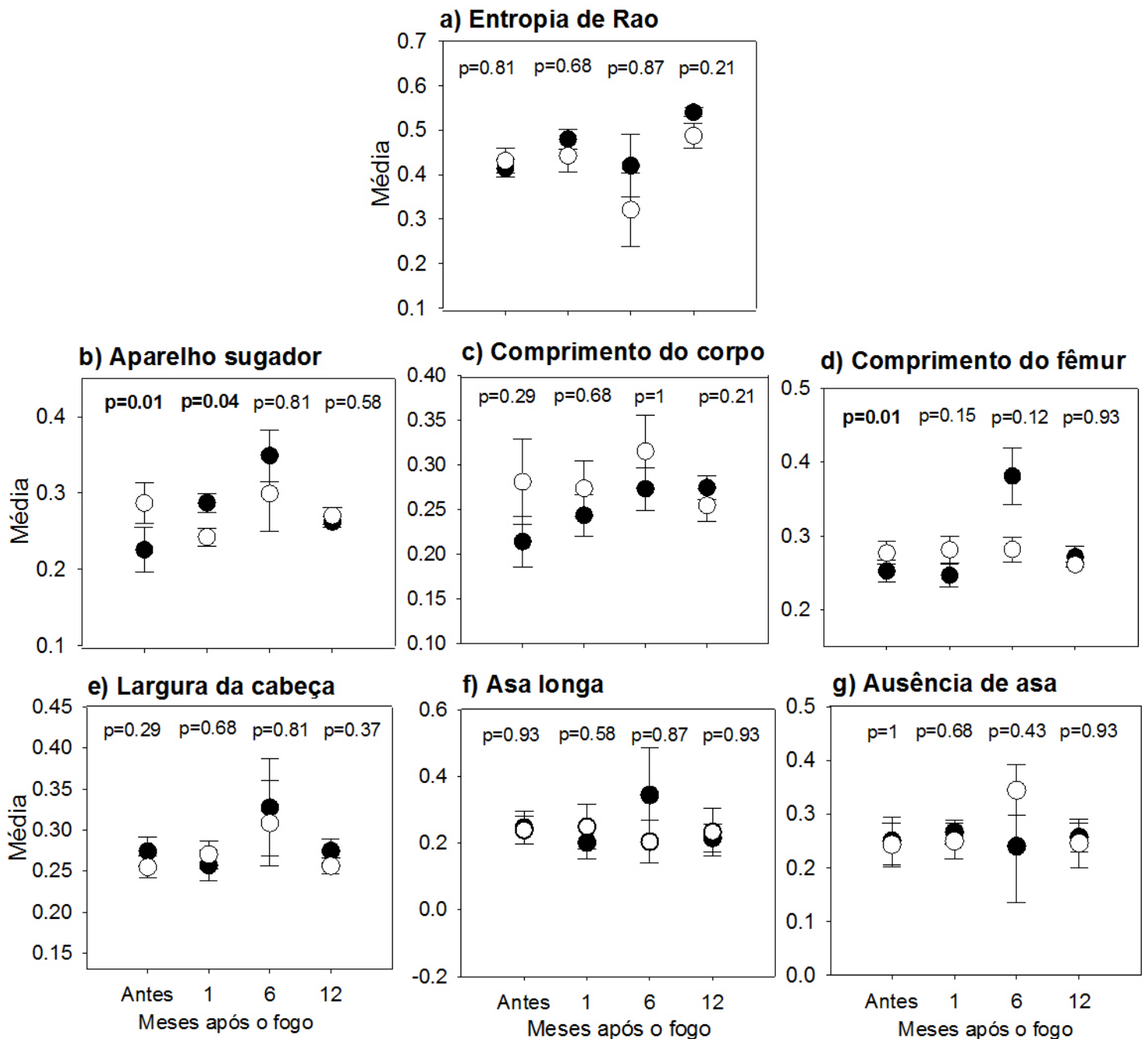


Figura 5. Análises funcionais de indivíduos da Subordem Heteroptera (Hemiptera) amostrados em experimento de fogo para cada período amostral. Símbolos em preto (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e) asa longa (f); e ausência de asa (g). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Análises Funcionais - Auchenorrhyncha

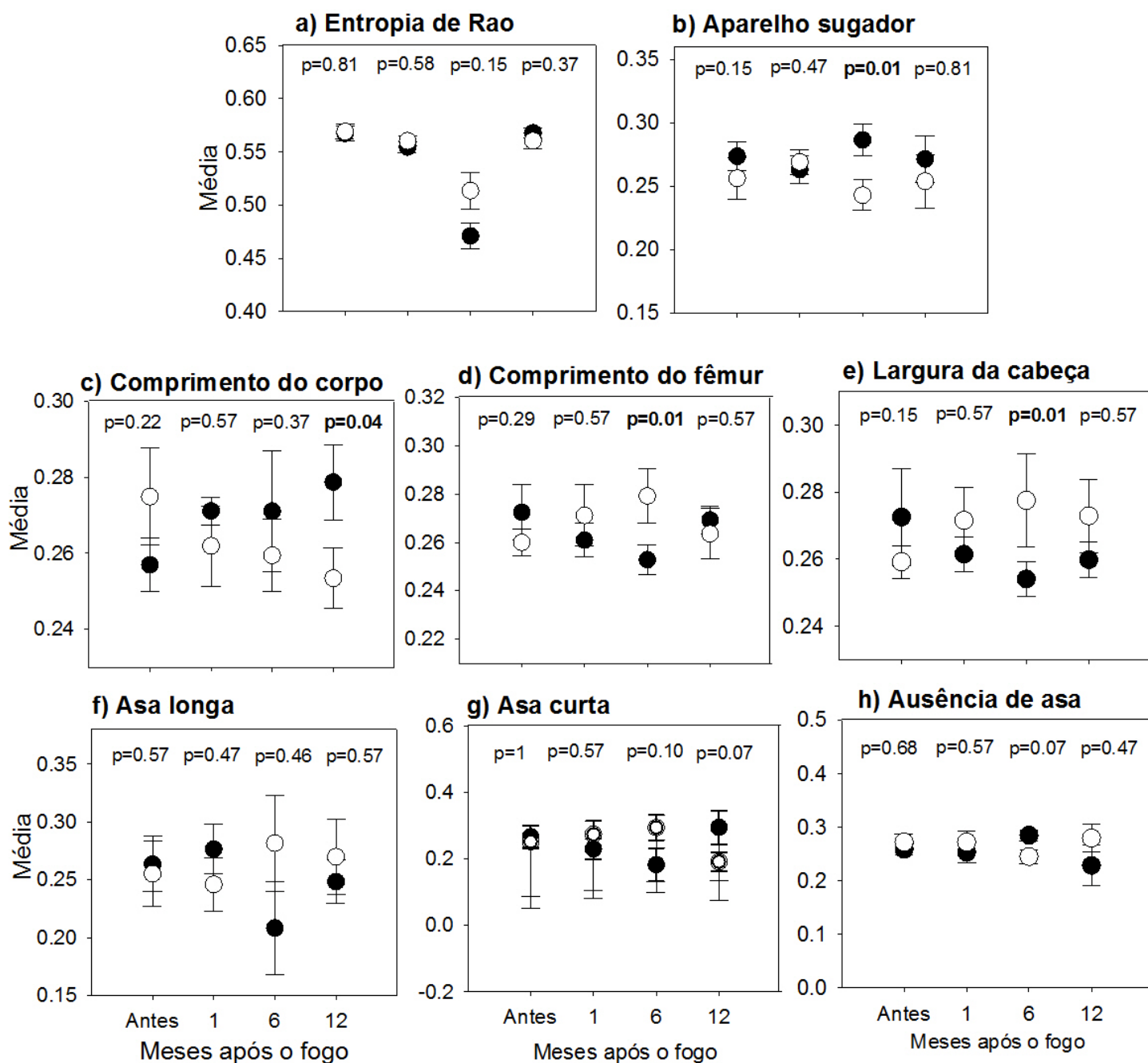


Figura 6. Análises funcionais de indivíduos da Subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador(b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur(d), largura da cabeça (e) asa longa(f); asa curta(g) e ausência de asa(h). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Quão resilientes são as diversidades taxonômica e funcional de Hemiptera ao distúrbio causado pelo fogo?

Analisando as diferenças presentes quanto à abundância e análises taxonômicas e funcionais podemos inferir que os efeitos do fogo após um ano já não são recorrentes. No entanto, o comprimento do corpo representa uma exceção, já que um ano após o fogo apresentou diferença significativa entre tratamentos.

Discussão

Como a abundância, riqueza, composição e diversidade taxonômica e funcional de Hemiptera são afetadas pelo distúrbio por fogo nos Campos Sulinos?

A diversidade de Hemiptera respondeu ao fogo, sendo as respostas distintas entre as subordens Heteroptera e Auchenorrhyncha. O aumento da abundância nas áreas queimadas, para jovens e adultos de Heteroptera e adultos de Auchenorrhyncha, pode estar relacionado ao rápido rebrote da vegetação campestre estimulada pelo fogo (Vesk e Westoby 2004; Bond e Keeley 2005; Vesk 2006). Em nossas áreas, ocorreu rebrote já no primeiro mês após o fogo, sendo observado visualmente. A vegetação campestre tem seu crescimento aumentado após o fogo, e possui adaptações importantes para regeneração pós-fogo. As gramíneas cespitosas têm meristemas foliares envoltos por uma bainha compacta, sendo assim protegidos durante a queimada (Gibson 2009). Outras plantas possuem como estratégia a alocação de recursos energéticos em raízes tuberosas sob o solo, possibilitando que estas rebrotem rapidamente em áreas queimadas (Fidelis 2009). Algumas gramíneas cespitosas que não possuem raízes tuberosas acumulam nutrientes no solo entre seus clones, em uma espécie de ilha, podendo ser acessada como fonte de energia para crescimento e reprodução (Derner e Briske 2001). O estímulo de rebrote gerado pelo fogo favorece o crescimento vegetativo (Pfab e Witkowski 1999; Fidelis et al. 2010) e o aumento de nitrogênio nas folhas (White 1984), fatores que atraem maior abundância de insetos fitófagos (Stiling e Moon

2005). Portanto não só há maior a disponibilidade de alimento, como a qualidade também é superior. Estudos demonstram que quando reduzida a biomassa da vegetação por algum distúrbio, tanto para gramíneas quanto leguminosas, ao rebrotarem, estas mobilizam maior quantidade de nitrogênio em suas folhas para o crescimento (Ourry et al. 1994; Corre et al. 1996; Thornton e Millard 1997). Além disso, o aumento de nitrogênio pode aumentar o investimento reprodutivo de sementes (White 1984), importante alimento para este grupo por conter uma fonte mais rica de proteína alimentar para fêmeas ovipositarem e para jovens em crescimento (Filippi et al. 2000). Tanto para indivíduos de Heteroptera quanto Auchenorrhyncha, suas atividades de oviposição, reprodução e duração de instares estão relacionadas ao nível de nitrogênio e a qualidade o alimento ingerido (Prestidge 1982; Prestidge e McNeill 1983; Panizzi 2009), portanto os adultos podem ter sido atraídos na busca da vegetação rebrotada, tanto como alimento para si, quanto para melhor nutrição de sua futura prole.

O aumento da riqueza de Auchenorrhyncha em áreas queimadas no primeiro mês após o fogo e da diversidade no primeiro e sexto mês após o fogo podem ser reflexos do aumento de diversidade da vegetação. A remoção da biomassa durante o fogo abre grandes lacunas na matriz vegetacional, modificando a competição entre as espécies de plantas (Marcos et al. 2004). Dados de diversidade vegetal em nossas áreas foram coletados antes e aos nove meses após o fogo, demonstrando aumento de diversidade vegetal nas parcelas queimadas (Podgaiski et al. 2013). A diminuição do efeito de sombreamento gerado pelas espécies dominantes (geralmente gramíneas cespitosas) permite que outras espécies menos comuns, possam se estabelecer (Fidelis et al. 2010), o que propicia o estabelecimento de uma maior diversidade e riqueza de espécies vegetais em áreas queimadas (Denslow 1985, Pickett 1989). As cinzas da matéria vegetal queimada são depositadas no solo, reduzindo o albedo (medida de luz refletida) aumentando a absorção de luz e, portanto a temperatura (Gibson, 2009) o que pode estimular uma maior floração de certos grupos de espécies (Boechert e Tyler 2009), e atrair maior diversidade de animais. Assim, o estímulo causado pelo

fogo a todos estes elementos vegetacionais provavelmente propiciaram o aumento na diversidade e riqueza de Auchenorrhyncha (Morris 1990; Denno e Roderick 1991; Hartley et al. 2003) já que esta subordem é conhecidamente representada por organismos intimamente relacionados a vegetação campestre (Prestidge e McNeill 1983; Nickel e Hildebrandt 2003, Hamilton e Whitcomb 2010).

Determinados atributos funcionais são selecionados após o distúrbio fogo?

Dentre os atributos funcionais avaliados, o aparelho sugador foi o que mais respondeu ao fogo, sendo maior nas áreas queimadas para Heteroptera um mês após o fogo, e para Auchenorrhyncha seis meses após o fogo nas mesmas áreas. Os insetos herbívoros preferem plantas mais jovens, durante o crescimento, pois esta é a fase em que a planta menos investe em defesa, sendo mais fácil ter acesso ao conteúdo nutritivo (Boege e Marquis 2005). No estado de maturação, a planta aumenta o investimento em defesa contra herbívoros (Fritz et al. 2001; Del val 2003; Boege 2005). Um exemplo de defesa utilizado pelas gramíneas contra herbívoros é a deposição de sílica em sua epiderme (Parry e Smithson 1964; Kaufman et al. 1985) aumentando a abrasividade e dificuldade de digestão dos tecidos (Massey et al. 2006) e causando desgaste das mandíbulas dos herbívoros que venham atacá-la (Raupp 1985; Massey e Hartley 2009). Podemos inferir que devido a maior palatabilidade da vegetação pode ter selecionado indivíduos com aparelho sugador maior, já que estes poderiam sofrer mais com a abrasividade da vegetação que os indivíduos com menor aparelho sugador.

Analisando os dados funcionais separadamente entre jovens e adultos, encontramos diferença significativa para o aparelho sugador somente para jovens de Heteroptera, sendo maior nas áreas queimadas. Podemos inferir também que o desenvolvimento dos imaturos de Heteroptera no primeiro mês pode ter sido estimulado nas áreas queimadas, incluindo nestas áreas ninfas de maiores instares neste período, já que tanto produção de ovos por adultos quanto o tempo de

desenvolvimento ninfal pode ser acelerado, quando disponibilizado alimento de maior qualidade nutricional (Santos e Panizzi 1998; Panizzi e Silva 2009).

Para *Auchenorrhyncha*, encontramos no sexto mês indivíduos com largura da cabeça e comprimento do fêmur menor, e aparelho sugador maior nas áreas queimadas, características estas selecionadas possivelmente devido ao maior número de jovens em relação a adultos nas parcelas queimadas. Este maior número de imaturos de *Auchenorrhyncha* no sexto mês corrobora o estudo de Ott e Carvalho (2001) onde foi encontrado um pico de abundância destes organismos próximo do mesmo período, entre julho e agosto. Em nosso estudo, ao que parece este aumento parece ter sido beneficiado pelo fogo. Se o cenário fosse de um fogo catastrófico, sem áreas matriz de recolonização próximas, provavelmente poderíamos encontrar uma vantagem maior para indivíduos com melhor capacidade de dispersão e características morfológicas mais robustas (exemplo: asas longas, fêmur maior, comprimento do corpo maior), em relação a organismos menores com menor capacidade de dispersão.

Quão resiliente é a diversidade de Hemiptera (taxonômica e funcional) ao distúrbio causado pelo fogo?

As alterações causadas pelo fogo à comunidade quanto às variáveis taxonômicas e funcionais pareceram se concentrar principalmente até os seis primeiros meses após o fogo, quando o rebrote da vegetação é estimulado pelo fogo (Fidelis et al. 2010). A resiliência da comunidade de Hemiptera se mostrou bastante rápida, estando provavelmente dependente da resiliência da comunidade vegetal, sendo a vegetação fator primordial na determinação do fitness destes organismos (Prestidge 1982; Prestidge e McNeill 1983; Panizzi 1999; Mourão 1999).

Conclusões

Concluimos, portanto que os efeitos do fogo causado a vegetação campestre afetaram a comunidade de Hemiptera, tanto em nível funcional quanto taxonômico, mas de maneiras distintas entre as subordens Auchenorrhyncha e Heteroptera. A abordagem de atributos funcionais se mostrou como um complemento da abordagem taxonômica, trazendo informações sobre relações mais diretas sobre o uso dos recursos pelos indivíduos. Mas a interpretação destas análises ainda é dificultada, devido ao pouco conhecimento destas relações diretas da morfologia dos organismos e sua relação com suas atividades no ambiente. Aparelho sugador foi o atributo que respondeu diferentemente após o fogo para ambas as subordens, demonstrando a determinação das características do grupo em função ao alimento ingerido. O período de desenvolvimento em que os organismos se encontram, adulto ou imaturo, parece ter sido selecionado pelas alterações do fogo. Isto pode ter ocorrido devido ao fogo ser de pequena escala, onde a recolonização não é dificultada devido a fato das parcelas estarem imersas em uma grande matriz de campo sem distúrbio. São necessários novos experimentos que possam conferir e estes efeitos são distintos em escalas diferentes, ou se não são dependentes de escala.

Referências

- Behling, H., Pillar, V. D., Orlóci, L., e Bauermann, S. G. (2004). Late Quaternary Araucaria forest, grassland (Campos), fire and climate dynamics, studied by high-resolution pollen, charcoal and multivariate analysis of the Cambará do Sul core in southern Brazil. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203(3), 277-297.
- Behling, H., Pillar, V. D., Müller, S. C., and Overbeck, G. E. (2007). Late-Holocene fire history in a forest-grassland mosaic in southern Brasil: Implications for conservation. *Applied Vegetation Science*, 10(1), 81-90.
- Borchert, M., e Tyler, C.M. (2009). Patterns of post-fire flowering and fruiting in *Chlorogalum pomeridianum* var. *pomeridianum* (DC) Kunth in southern California chaparral. *International Journal of Wildland Fire*
- Boege, K. (2005). Influence of plant ontogeny on compensation to leaf damage. *American journal of botany*, 92(10), 1632-1640.
- Boege, K., e Marquis, R. J. (2005). Facing herbivory as you grow up: the ontogeny of resistance in plants. *Trends in Ecology e Evolution*, 20(8), 441-448.
- Bond W. J., Woodward F. I. and Midgley G. F. (2005) The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*. 165: 525–538.
- Bond, W. J., and J. E. Keeley. (2005) Fire as a global “herbivore”: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 387–394.
- Botta-Dukát, Z. (2005). Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. *Journal of Vegetation Science*, 16(5), 533-540.

- Chapman, R. F. (1998). *The insects: structure and function*. Cambridge university press.
- Chown, S. L., e Gaston, K. J. (2010). Body size variation in insects: a macroecological perspective. *Biological Reviews*, 85(1), 139-169.
- Cohen, A. C., Earl, S. L., e Graham, H. M. (1984). Rates of water loss and desiccation tolerance in four species of *Lygus*. *Southwest Entomology*, 9.
- Connacher, B. S. (2013). *The effects of grazing (bison and elk) and burning on biodiversity of Hemiptera (heteroptera; Homoptera; Auchenorrhyncha) at Prairie State Park, Missouri (Doctoral dissertation)*.
- Corre, N., Bouchart, V., Ourry, A., e Boucaud, J. (1996). Mobilization of nitrogen reserves during regrowth of defoliated *Trifolium repens* L. and identification of potential vegetative storage proteins. *Journal of Experimental Botany*, 47(8), 1111-1118.
- de Bello, F., Lavorel, S., Díaz, S., Harrington, R., Cornelissen, J. H., Bardgett, R. D., ... e Harrison, P. A. (2010). Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*, 19(10), 2873-2893.
- Del Val, M. P., e Fuentes, C. M. (2003). Resistance to change: a literature review and empirical study. *Management Decision*, 41(2), 148-155.
- Denno, R. F., e Roderick, G. K. (1991). Influence of patch size, vegetation texture, and host plant architecture on the diversity, abundance, and life history styles of sapfeeding herbivores. In *Habitat Structure* (pp. 169-196). Springer Netherlands.
- Denslow, J.S., 1985. Disturbance-mediated coexistence of species. In: S.T.A. Pickett and P.S. White (Editors), *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press,

- Derner, J. D., e Briske, D. D. (2001). Below-ground carbon and nitrogen accumulation in perennial grasses: a comparison of caespitose and rhizomatous growth forms. *Plant and Soil*, 237(1), 117-127.
- Díaz, S., Cabido, M., eCasanoves, F. (1998). Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation Science*, 9(1), 113-122.
- Díaz, S., Lavorel, S., Chapin III, F. S., Tecco, P. A., Gurvich, D. E., eGrigulis, K. (2007)a. Functional diversity—at the crossroads between ecosystem functioning and environmental filters. In *Terrestrial ecosystems in a changing world* (pp. 81-91). Springer Berlin Heidelberg.
- Díaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quétier, F., Grigulis, K., e Robson, T. M. (2007)b. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20684-20689.
- Engstrom, R. T. (2010). First-order fire effects on animals: review and recommendations. *Fire ecology*, 6(1), 115-130.
- Fidelis, A., Appezzato-da-Glória, B., ePfadenhauer, J. (2009). A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. *CAMPOS SULINOS*, 88.
- Fidelis, A. T., Delgado Cartay, M. D., Blanco, C. C., Muller, S. C., Pillar, V. D. P., e Pfadenhauer, J. S. (2010). Fire intensity and severity in Brazilian Campos grasslands. *Interciencia: revista de ciencia y tecnologia de america*. Caracas. Vol. 35, n. 10 (Oct. 2010), p. 739-745.
- Filippi, L., Hironaka, M., Nomakuchi, S., eTojo, S. (2000). Provisioned *Parastrachia japonensis* (Hemiptera: Cydnidae) nymphs gain access to food and protection from predators. *Animal behaviour*, 60(6), 757-763.

- Fritz, R. S., Hochwender, C. G., Lewkiewicz, D. A., Bothwell, S., eOrians, C. M. (2001). Seedling herbivory by slugs in a willow hybrid system: developmental changes in damage, chemical defense, and plant performance. *Oecologia*, 129(1), 87-97.
- Gibson, D. J. (2009). *Grasses and grassland ecology*. Oxford University Press.
- Grimaldi, D. (2005). *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press.
- Hamilton, K. G. A. (1981). Morphology and evolution of the rhynchotan head (Insecta: Hemiptera, Homoptera). *The Canadian Entomologist*, 113(11), 953-974.
- Hamilton, K. A., e Whitcomb, R. F. (2010). Leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae): a major family adapted to grassland habitats. *Arthropods of Canadian grasslands*, 1, 169-197.
- Hartley, S. E., e Gardner, S. M. (1995). The response of *Philaenus spumarius* (Homoptera: Cercopidae) to fertilizing and shading its moorland host-plant (*Calluna vulgaris*). *Ecological Entomology*, 20(4), 396-399.
- Higgins, S. I., Bond, W. J., February, E. C., Bronn, A., Euston-Brown, D. I., Enslin, B., ...e Trollope, W. S. (2007). Effects of four decades of fire manipulation on woody vegetation structure in savanna. *Ecology*, 88(5), 1119-1125.
- Hobbs, R. J., e Huenneke, L. F. (1992). Disturbance, diversity, and invasion: implications for conservation. *Conservation biology*, 6(3), 324-337.
- Hollier, J. A., Maczey, N., Masters, G. J., e Mortimer, S. R. (2005). Grassland leafhoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha) as indicators of habitat condition—a comparison of between-site and between-year differences in assemblage composition. *Journal of Insect Conservation*, 9(4), 299-307.

Jetz, W., Carbone, C., Fulford, J., e Brown, J. H. (2004).The scaling of animal space use. *Science*, 306(5694), 266-268.

Joern, A., e Laws, A. N. (2013).Ecological mechanisms underlying arthropod species diversity in grasslands. *Annual review of entomology*, 58, 19-36.

Kaspari, M., e Weiser, M. (2007).The size–grain hypothesis: do macroarthropods see a fractal world? *Ecological entomology*, 32(3), 279-282.

Kaufman, P. B., Dayanandan, P., Franklin, C. I., e TAKEOKA, Y. (1985).Structure and function of silica bodies in the epidermal system of grass shoots. *Annals of botany*, 55(4), 487-507.

Keddy, P. A. (1992). Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 3(2), 157-164.

Korösi, Á., Batary, P., Orosz, A., Redei, D., eBaldi, A. (2012). Effects of grazing, vegetation structure and landscape complexity on grassland leafhoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha) and true bugs (Hemiptera: Heteroptera) in Hungary. *Insect Conservation and Diversity*, 5(1), 57-66.

Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., e Ricketts, T. H. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10(4), 299-314.

Larsen, T. H., Williams, N. M., e Kremen, C. (2005). Extinction order and altered community structure rapidly disrupt ecosystem functioning. *Ecology letters*, 8(5), 538-547.

Maczey, N., Masters, G. J., Hollier, J. A., Mortimer, S. R., e Brown, V. K. (2005). Community associations of chalk grassland leafhoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha): conclusions for habitat conservation. *Journal of Insect Conservation*, 9(4), 281-298.

- Marcos, E., Tárrega, R., e Luis-Calabuig, E. (2004). Interactions between mediterranean shrub species eight years after experimental fire. *Plant ecology*, 170(2), 235-241.
- Massey, F. P., Ennos, A. R., e Hartley, S. E. (2006). Silica in grasses as a defence against insect herbivores: contrasting effects on folivores and a phloem feeder. *Journal of Animal Ecology*, 75(2), 595-603.
- Massey, F. P., e Hartley, S. E. (2009). Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores. *Journal of Animal Ecology*, 78(1), 281-291.
- Millenium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: Wetland and water. Synthesis*. Available online: www.maweb.org/documents/document.358.aspx.pdf.
- Moreno, J. A. (1961). *Clima do Rio grande do Sul*. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Agricultura, Diretoria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia.
- Morris, M. G. (1973). The effects of seasonal grazing on the Heteroptera and Auchenorhyncha (Hemiptera) of chalk grassland. *Journal of Applied Ecology*, 761-780.
- Morris, M. G., e Lakhani, K. H. (1979). Responses of grassland invertebrates to management by cutting. I. Species diversity of Hemiptera. *Journal of Applied Ecology*, 77-98.
- Morris, M. G. (1981)a. Responses of grassland invertebrates to management by cutting. III. Adverse effects on Auchenorhyncha. *Journal of Applied Ecology*, 107-123.
- Morris, M. G. (1981)b. Responses of Grassland Invertebrates to Management by Cutting: IV Positive Responses of Auchenorhyncha. *Journal of Applied Ecology*, 763-771.

- Morris, M. G., e Plant, R. (1983). Responses of grassland invertebrates to management by cutting. V. Changes in Hemiptera following cessation of management. *Journal of Applied Ecology*, 157-177.
- Morris, M. G. (1975). Preliminary observations on the effects of burning on the Hemiptera (Heteroptera and Auchenorrhyncha) of limestone grassland. *Biological conservation*, 7(4), 311-319.
- Mortimer, S. R., Hollier, J. A., e Brown, V. K. (1998). Interactions between plant and insect diversity in the restoration of lowland calcareous grasslands in southern Britain. *Applied Vegetation Science*, 1(1), 101-114.
- Nickel, H., e Hildebrandt, J. (2003). Auchenorrhyncha communities as indicators of disturbance in grasslands (Insecta, Hemiptera)—a case study from the Elbe flood plains (northern Germany). *Agriculture, ecosystems and environment*, 98(1), 183-199.
- Ott, A. P., e Carvalho, G. S. (2001). Comunidade de cigarrinhas (Hemiptera: Auchenorrhyncha) de uma área de campo do município de Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. *Neotropical Entomology*, 30(2), 233-243.
- Ourry, A., Kim, T. H., e Boucaud, J. (1994). Nitrogen reserve mobilization during regrowth of *Medicago sativa* L. (Relationships between availability and regrowth yield). *Plant Physiology*, 105(3), 831-837.
- Overbeck, G.; Müller, S.; Fidelis, A.; Pfadenhauer, J.; Pillar, V.; Blanco, C.; Boldrini, I.; Both, R. e Forneck, E. (2007). Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. Perspectives. *Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 9: 101-116.
- Overbeck, G. E., e Pfadenhauer, J. (2007). Adaptive strategies in burned subtropical grassland in southern Brazil. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 202(1), 27-49.

- Panizzi, A. R., and F. A. C. Silva. "Insetos sugadores de sementes (Heteroptera)." Bioecologia e nutrição de insetos. Embrapa, Brasília (2009): 465-522.
- Parry, D. W., e Smithson, F. (1964). Types of opaline silica depositions in the leaves of British grasses. *Annals of Botany*, 28(1), 169-185.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., e McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology e Earth System Sciences Discussions*, 4(2).
- Peters, R. H., e Wassenberg, K. (1983). The effect of body size on animal abundance. *Oecologia*, 60(1), 89-96.
- Pfab, M. F., e Witkowski, E. T. F. (1999). Fire survival of the Critically Endangered succulent, *Euphorbia clivicola* RA Dyer—fire-avoider or fire-tolerant? *African Journal of Ecology*, 37(3), 249-257.
- Pickett, S. T. A., Kolasa, J., Armesto, J. J., e Collins, S. L. (1989). The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, 129-136
- Pillar, V. (2004). SYNCOSA: 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 da UFRGS, 2005
- Pillar, V. P. (2001). MULTIV: software para análise multivariada, testes de aleatorização e autoreamostragem "bootstrap". Porto Alegre: Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pillar, V. D. e F. L. F. de Quadros. (1997). Grassland-forest boundaries in southern Brazil. *Coenoses* 12: 119- 126.

- Pimm, S. L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307(5949), 321-326.
- Podgaiski, L. R., Mendonça Jr, M. D. S., e Pillar, V. D. P. (2011). O uso de Atributos Funcionais de invertebrados terrestres na ecologia: O que, como e por quê?. *Oecologia Australis*, 15(4), 835-853.
- Prestidge, R. A. (1982). Instar duration, adult consumption, oviposition and nitrogen utilization efficiencies of leafhoppers feeding on different quality food (Auchenorrhyncha: Homoptera). *Ecological Entomology*, 7(1), 91-101.
- Prestidge, R. A., e McNeill, S. (1983). Auchenorrhyncha-host plant interactions: leafhoppers and grasses. *Ecological Entomology*, 8(3), 331-339.
- Raupp, M. J. (1985). Effects of leaf toughness on mandibular wear of the leaf beetle, *Plagioder a versicolora*. *Ecological Entomology*, 10(1), 73-79.
- Ricotta, C., e Moretti, M. (2011). CWM and Rao's quadratic diversity: a unified framework for functional ecology. *Oecologia*, 167(1), 181-188.
- Santos, C. H., e Panizzi, A. R. (1998). Nymphal and adult performance of *Neomegalotomus parvus* (Hemiptera: Alydidae) on wild and cultivated legumes. *Annals of the entomological Society of America*, 91(4), 445-451.
- Santos, C. D. (2003) Suscetibilidade da soja, *Glycinemax* (L.) Merr. aos danos causados por *Nezara viridula* (L.), *Euschistusheros* (Fabr.) e *Piezodorus guildinii* (West.) (Heteroptera: Pentatomidae) e *Neomegalotomus parvus* West. (Heteroptera: Alydidae). 91p (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba).
- Sanderson, R. A., Rushton, S. P., Cherrill, A. J., e Byrne, J. P. (1995). Soil, vegetation and space: an analysis of their effects on the invertebrate communities of a moorland in north-east England. *Journal of Applied Ecology*, 506-518.

- Stehr, F. W. (1987). *Immature insects* [Vol. 1]. Kendall/Hunt Publishing Co..
- Stiling, P., e Moon, D. C. (2005). Quality or quantity: the direct and indirect effects of host plants on herbivores and their natural enemies. *Oecologia*,142(3), 413-420.
- Stokstad, E. (2005). Taking the pulse of Earth's life-support systems. *Science*, 308(5718), 41-43.
- Stork, N. E., Samways, M. J., and Eeley, H. A. (1996). Inventorying and monitoring biodiversity. *Trends in ecology and evolution*, 11(1), 39-40.
- Tallis, H., e Kareiva, P. (2005). Ecosystem services. *Current biology*, 15(18), R746-R748.
- Thornton, B., e Millard, P. (1997). Increased defoliation frequency depletes remobilization of nitrogen for leaf growth in grasses. *Annals of Botany*, 80(1), 89-95.
- Tilman, D., e Downing, J. A. (1996).Biodiversity and stability in grasslands.In *Ecosystem Management* (pp. 3-7).Springer New York.
- Tipping, C., Mizell III, R. F., e Andersen, P. C. (2004). Dispersal adaptations of immature stages of three species of leafhopper (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). *Florida entomologist*, 87(3), 372-379.
- Tscharntke, T., e Greiler, H. J. (1995).Insect communities, grasses, and grasslands. *Annual Review of Entomology*, 40(1), 535-558.
- Vesk, P. A., e Westoby, M. (2004). Sprouting ability across diverse disturbances and vegetation types worldwide. *Journal of Ecology*, 92(2), 310-320.
- Vesk, P. A. (2006). Plant size and resprouting ability: trading tolerance and avoidance of damage?. *Journal of Ecology*, 94(5), 1027-1034.

Wallner, A. M. (2011). Evaluating North American tallgrass prairie quality using the Auchenorrhyncha quality index (Doctoral dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign).

Wallner, A. M., Molano-Flores, B., e Dietrich, C. H. (2013). Using Auchenorrhyncha (Insecta: Hemiptera) to develop a new insect index in measuring North American tallgrass prairie quality. *Ecological Indicators*, 25, 58-64.

Waloff, N. (1973)"Dispersal by flight of leafhoppers (Auchenorrhyncha: Homoptera)." *Journal of Applied Ecology*: 705-730.

Waloff, N. (1980). Studies on grassland leafhoppers (Auchenorrhyncha, Homoptera) and their natural enemies. *Advances in Ecological Research*, 11, 81-215.

Whiles, M. R., e Charlton, R. E. (2006). The ecological significance of tallgrass prairie arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 387-412.

White, T. C. R. (1984). The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia*, 63(1), 90-105.

Apêndice

Análises funcionais - adultos de Heteroptera

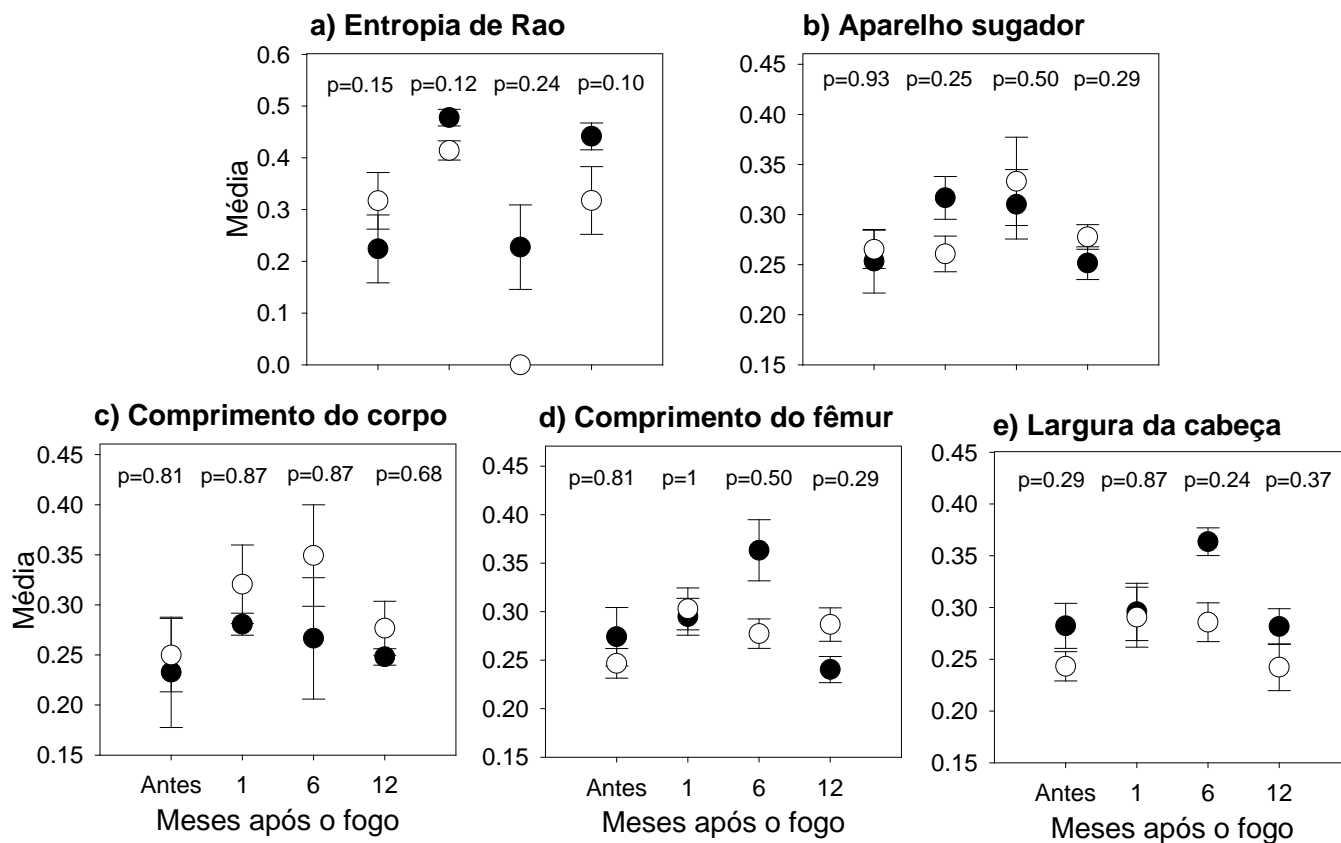


Figura 1. Análises funcionais dos adultos da Subordem Heteroptera (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Análises funcionais - ninfas de Heteroptera

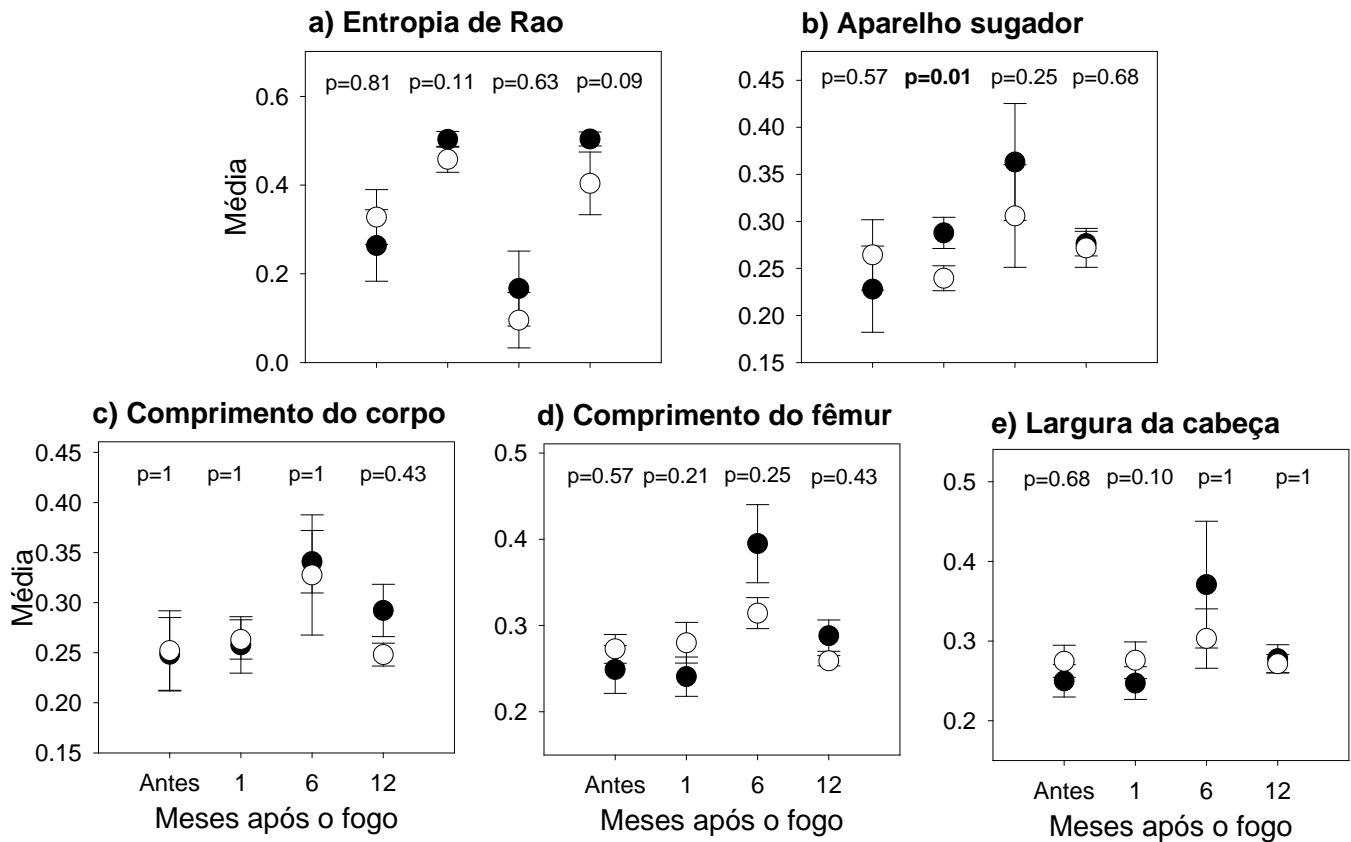


Figura 2. Análises funcionais das ninfas da Subordem Heteroptera (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Análises funcionais - adultos de Auchenorrhyncha

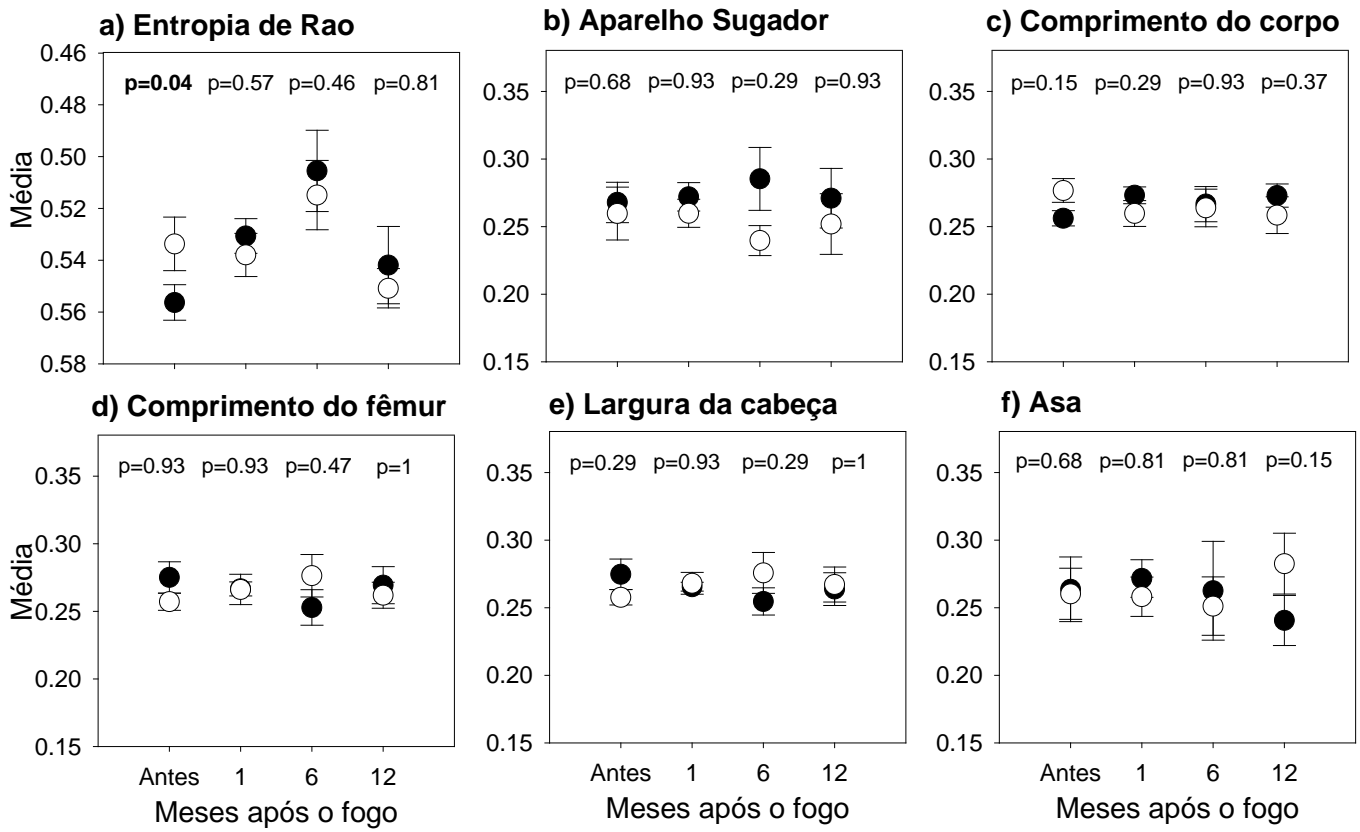


Figura 3. Análises funcionais dos adultos da Subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), média das CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e) asa (presença e ausência) (f); Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Análises funcionais - ninfas de Auchenorrhyncha

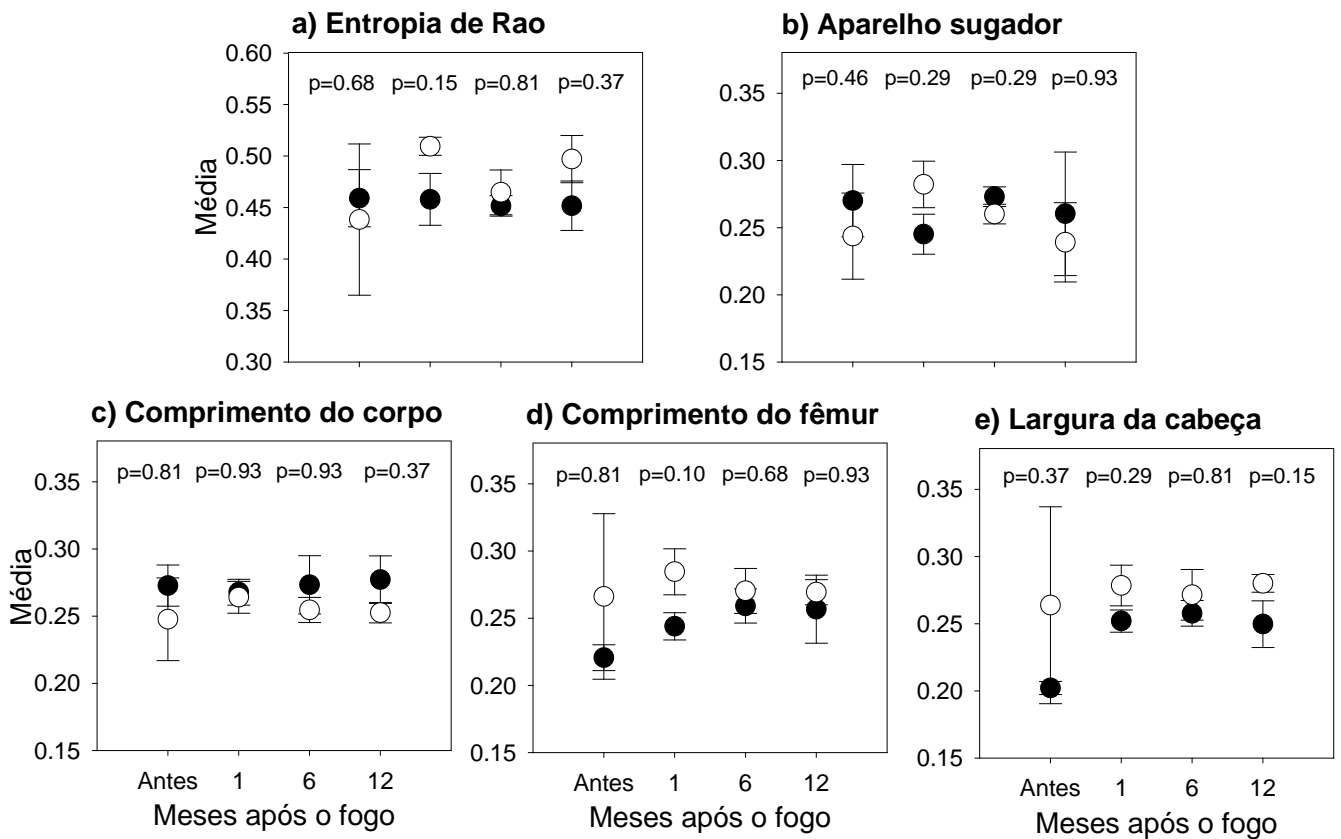


Figura 4. Análises funcionais das ninfas da Subordem Auchenorrhyncha (Hemiptera) coletados em experimento de fogo. Símbolos em negrito (parcelas queimadas) e círculos abertos (parcelas controle). Entropia de Rao (a), média das CWM nas parcelas, para os atributos aparelho sugador (b), comprimento do corpo (c) comprimento do fêmur (d), largura da cabeça (e). Valores de p em negrito significam resultados significativos baseados em ANOVA em blocos (n=7). Barras de erro representam os erros padrão.

Considerações Finais

Os artrópodes e a ordem Hemiptera responderam aos efeitos causados pelo fogo, principalmente nos primeiros seis meses após o fogo, o qual agiu como filtro ambiental da comunidade de artrópodes. Os artrópodes demonstraram ser bastante resilientes ao fogo, provavelmente como reflexo da resiliência rápida da vegetação campestre que se reconstituiu rapidamente, sendo estimulada pelo distúrbio. Pesquisas que avaliem tamanhos maiores de parcelas são necessárias, pois devido a maior escala resultados distintos podem ser encontrados. Nossos resultados demonstraram a importância das condições do hábitat para a diversidade dos artrópodes, a necessidade da camada de serrapilheira para que artrópodes que vivem sobre o solo ali se estabeleçam, como a modificação gerada na vegetação surtiu efeitos na comunidade de artrópodes, e para Hemiptera onde adultos foram atraídos pelo melhor recurso alimentar, e talvez para ovipositarem seus ovos, possivelmente aumentando também a abundância de jovens. Estudos com artrópodes utilizando níveis taxonômicos menos abrangentes como gênero ou espécie poderiam revelar padrões mais específicos. Por exemplo, a realização de estudos com determinadas espécies de Hemiptera, onde se pudesse trabalhar com imaturos com mais segurança, ou até ovos, para investigar os efeitos do fogo sobre a reprodução destes organismos seria uma contribuição interessante. Outras variáveis ecológicas interessantes que poderiam ser avaliadas em novos estudos, por exemplo, como a polinização é afetada após o fogo, tendo em vista o possível estímulo do fogo a floração, ou implicações das mudanças causadas pelo fogo, como a deposição de cinzas no solo ou abertura do dossel, afetariam a camuflagem dos artrópodes de solo.

Tendo em vista nossos resultados, uma possível adaptação do uso do fogo de maneira sustentável poderia incluir neste método queimadas em manchas, pois permitindo a presença de áreas adjacentes que possam recolonizar áreas queimadas a diversidade poderia ser mantida e até

mesmo quem sabe estimulada, portanto seria interessante realizar um estudo sistemático aplicado nos campos em nosso Estado, unindo também a variável pastejo para compreender melhor as atribuições e logística desta forma de manejo.